

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.А. Попов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «Інтегрована система енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем»

Виконав (-ла): студент (-ка) VI курсу, групи ОН-91мп

\_\_\_\_\_ Степаненко Віталій Анатолійович

( прізвище, ім'я по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Веремійчук Ю.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повна назва)

Кафедра електропостачання  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.А. Попов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту  
Степаненку Віталію Анатолійовичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Інтегрована система енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем»  
науковий керівник дисертації: к.т.н., доц. Веремійчук Ю.А. \_\_\_\_\_,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. №3199-с
2. Строк подання студентом дисертації: 14 грудня 2020 року
3. Об'єкт дослідження: процеси енергозабезпечення корпусу №22 з використанням сонячної електричної станції
4. Предмет дослідження: методи та засоби моделювання системи вентиляції та кондиціонування з урахуванням технічних і експлуатаційних характеристик СЕС.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проведення аналізу нормативної бази щодо інноваційних техніко технологічних рішень у будівництві, що дає підґрунтя для проектування систем енергозабезпечення; аналіз методів та інструментальних засобів моделювання систем вентиляції та кондиціонування локального об'єкта, що дасть змогу спроектувати дані системи з врахування технічних і

експлуатаційних характеристик; дослідження генерації СЕС з метою синхронізації із режимом роботи систем вентиляції та кондиціонування

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація, діаграми, графіки споживання енергоресурсів, результатів розрахунків.

7.Орієнтовний перелік публікацій: Степаненко В.А., Веремійчук Ю.А., Експериментальне дослідження ефективності генерації дахової СЕС корпусу №22. XII Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина», 7-8 травня 2020, м. Київ;

Степаненко В.А., Інтегрована система енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем. III Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ, 26-27 листопада 2020, м. Київ.

8.Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

ас. Прокопенко І.Д.

9.Дата видачі завдання 31 травня 2020 року

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Аналіз ефективності систем енергозабезпечення будівель	01.06.20-23.06.20	
2	Аналіз існуючих методів і підходів підвищення рівня енергетичної ефективності систем вентиляції та кондиціонування	24.06.20-31.07.20	
3	Проектування системи вентиляції та кондиціонування з врахування технічних і експлуатаційних характеристик локального об'єкта	01.08.20-31.09.20	
4	Розробка стартап проекту	16.11.20-25.11.20	
5	Оформлення дисертації	30. 10.20-10.12.20	
6.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	01. 12.20-10.12.20	
7.	Передзахист МД	10.12.20-14.12.20	
8.	Захист дисертації	17.12.20-22.12.20	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

В.А. Степаненко

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ю.А. Веремійчук

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

**Структура і обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку використаних літературних джерел та додатку. Повний обсяг дисертації складає 95 сторінок, 35 рисунків, 21 таблиць, 50 бібліографічних найменувань за переліком посилань та 2 додатка.

**Актуальність теми.** Зменшення використання енергії для опалення, вентиляції та кондиціонування є вирішальним кроком на шляху досягнення глобальних цілей щодо декарбонізації серед інших ключових стратегій у галузі довкілля та розвитку. Покращення енергоефективності є однією з важливих стратегій уповільнення зростання попиту та пом'якшення негативного впливу на здоров'я, економіку та навколишнє середовище. Заходи з енергоефективності, такі як будівельні норми та стандарти для обладнання, часто є економічно вигідними варіантами зменшення теплової потреби будівель та промислових процесів.

Однак зниження попиту на енергію вирішує лише частину проблеми, і цього недостатньо для зменшення викидів парникових газів, досягнення цілей сталого розвитку та доступу до енергії. Поряд з ефективністю, відновлювана енергія відіграватиме фундаментальну роль у декарбонізації енергії, що використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування.

**Метою дослідження** є впровадження інтегрованої системи енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем та з урахуванням технічних і експлуатаційних характеристик СЕС.

Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні **завдання**:

- проведення аналізу нормативної бази щодо інноваційних техніко-технологічних рішень у будівництві;
- проведення аналізу методів та інструментальних засобів моделювання систем вентиляції та кондиціонування локального об'єкта;
- дослідження генерації СЕС з метою синхронізації із режимом роботи систем вентиляції та кондиціонування.

**Об'єкт дослідження:** процеси енергозабезпечення корпусу №22 з використанням сонячної електричної станції.

**Предметом дослідження** є методи та засоби моделювання системи вентиляції та кондиціонування з урахуванням технічних і експлуатаційних характеристик СЕС.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає в обґрунтуванні доцільності впровадження інтегрованої системи енергозабезпечення, що дає можливість підвищити рівень ефективності енергозабезпечення локального об'єкта.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у тому, що впровадження та експлуатація інтегрованої системи енергозабезпечення дозволяє підвищити енергоефективність локального об'єкта, зменшити викиди CO<sub>2</sub> з використання відновлюваних джерел енергії.

**Апробація** результатів представлена на III Науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ, 26-27 листопада 2020 року, м. Київ та XII Науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина», 7-8 травня 2020 року, м. Київ.

**Публікації.** Степаненко В.А., Веремійчук Ю.А., Експериментальне дослідження ефективності генерації дахової СЕС корпусу №22. XII Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина»; 7-8 травня 2020; м. Київ; С. 144-150.

**Інформаційні технології.** Для виконання розрахунків у розділі 3 магістерської дисертації використовувалось наступне програмне забезпечення: Audytor OZC, MS Excel, Северный ветер, System Advisor Model, Ventmaster.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЛОКАЛЬНИЙ ОБ'ЄКТ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ХАБ, ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА, ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ.

## ABSTRACT

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters of the main part, conclusions, a list of references and an appendix. The full volume of the dissertation is 95 pages, 35 figures, 21 tables, 50 bibliographic titles according to the list of references and 2 appendices.

**Actuality of theme.** Reducing energy use for heating, ventilation and air conditioning is a crucial step towards achieving the global decarbonisation targets among other key environmental and development strategies. Improving energy efficiency is one of the important strategies to slow down the growth of demand and mitigate the negative impact on health, the economy and the environment. Energy efficiency measures, such as building codes and equipment standards, are often cost-effective options for reducing the thermal demand of buildings and industrial processes.

However, reducing energy demand solves only part of the problem, and this is not enough to reduce greenhouse gas emissions, achieve sustainable development goals and access to energy. Along with efficiency, renewable energy will play a fundamental role in decarbonizing energy used for heating, ventilation and air conditioning.

**The purpose of the study** is the introduction of an integrated energy supply system using ventilation systems and taking into account the technical and operational characteristics of SES.

To achieve this goal, the following **tasks** were solved:

- analysis of the regulatory framework for innovative technical and technological solutions in construction;
- analysis of methods and means of modeling ventilation and air conditioning systems of the local facility;
- study of SES generation in order to synchronize with the mode of operation of ventilation and air conditioning systems.

**Object of research:** the processes of power supply of the building №22 using a solar power plant.

**The subject of the research** are methods and means of modeling the ventilation and air conditioning system taking into account the technical and operational characteristics of SES.

**The scientific novelty** of the obtained results is to substantiate the feasibility of implementing an integrated energy supply system, which makes it possible to increase the level of energy efficiency of the local facility.

**The practical significance** of the obtained results is that the introduction and operation of an integrated energy supply system allows to increase the energy efficiency of the local facility, to reduce CO<sub>2</sub> emissions from the use of renewable energy sources.

**Approbation** of the results was presented at the III Scientific and Technical Conference of IEE undergraduates, November 26-27, 2020, Kyiv and the XII Scientific and Technical Conference "Energy. Ecology. Man ", May 7-8, 2020, Kyiv.

**Publications.** Stepanenko V., Veremiychuk Y., Experimental study of the efficiency of generation of roof SES building №22. XII Scientific and Technical Conference "Energy. Ecology. Man"; May 7-8, 2020; Kyiv; Pp. 144-150.

**Information Technology.** The following software was used to perform calculations in section 3 of the master's dissertation: Audytor OZC, MS Excel, North Wind, System Advisor Model, Ventmaster.

**KEYWORDS:** LOCALS, ENERGY HUB, POWER SUPPLY, RENEWABLE ENERGY, INTEGRATED SYSTEMS, ELECTRIC POWER GENERATION, HVAC SYSTEM, SOLAR POWER.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП .....	5
1. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	7
1.1 Загальна характеристика використання енергетичних ресурсів системами енергозабезпечення.....	7
1.2 Аналіз концепції <i>energy hub</i> як шлях для підвищення енергоефективності систем енергозабезпечення.....	14
1.3 Аналіз нормативно-правового забезпечення щодо ефективності систем енергозабезпечення.....	20
Висновки до розділу 1 .....	25
2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ПІДХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ.....	26
2.1 Аналіз методів та способів підвищення рівня енергоефективності в системах вентиляції та кондиціонування .....	26
2.1.1 Метод утилізація теплоти повітря.....	26
2.1.2 Аналіз ефективності використання систем із змінною витратою повітря.....	31
2.1.3 Метод безперервного введення в експлуатацію системи вентиляції.....	34
2.2 Методика розрахунку і моделювання роботи систем вентиляції та кондиціонування, огляд програмного забезпечення .....	35
2.3 Моделювання роботи сонячних електростанцій: огляд програмного забезпечення .....	45



Висновки до розділу 2 .....	47
3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ З ВРАХУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОКАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА.....	48
3.1 Проектування системи вентиляції та кондиціювання .....	48
3.2 Аналіз експлуатаційних характеристик дахової СЕС корпусу №22	74
3.3 Інтегрована система енергозабезпечення корпусу №22 .....	79
Висновки до розділу 3 .....	81
4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	82
4.1 Опис ідеї проекту .....	82
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	83
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	84
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	86
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	87
Висновки до розділу 4 .....	88
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	91
ДОДАТКИ.....	96

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

*CAV – constant air volume;*

*EH – energy hub;*

*IRENA – The International Renewable Energy Agency;*

*SAM – System Advisor Model;*

*VAV – variable air volume;*

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ГЕН – графік електричних навантажень;

ДБН – Державні будівельні норми;

ІЕС – інтегрована енергетична система;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

МЕЗ – можливий енергозберігаючий захід;

ОВіК – опалення, вентиляція і кондиціонування;

ПВУ – припливно-витяжна установка;

ПЗ - програмне забезпечення;

САПР – система автоматизованого проектування;

СЕС – сонячна електрична станція.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Зменшення використання енергії для опалення, вентиляції та кондиціонування є вирішальним кроком на шляху досягнення глобальних цілей щодо декарбонізації серед інших ключових стратегій у галузі довкілля та розвитку. Покращення енергоефективності є однією з важливих стратегій уповільнення зростання попиту та пом'якшення негативного впливу на здоров'я, економіку та навколишнє середовище. Заходи з енергоефективності, такі як будівельні норми та стандарти для обладнання, часто є економічно вигідними варіантами зменшення теплової потреби будівель та промислових процесів.

Однак зниження попиту на енергію вирішує лише частину проблеми, і цього недостатньо для зменшення викидів парникових газів, досягнення цілей сталого розвитку та доступу до енергії. Поряд з ефективністю, відновлювана енергія відіграватиме фундаментальну роль у декарбонізації енергії, що використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування.

**Метою дослідження** є впровадження інтегрованої системи енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем та з урахуванням технічних і експлуатаційних характеристик СЕС.

Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні **завдання**:

- проведення аналізу нормативної бази щодо інноваційних техніко-технологічних рішень у будівництві;
- проведення аналізу методів та засобів моделювання систем вентиляції та кондиціонування локального об'єкта;
- дослідження генерації СЕС з метою синхронізації із режимом роботи систем вентиляції та кондиціонування.

**Об'єкт дослідження:** процес енергозабезпечення корпусу №22 з використанням сонячної електричної станції.

**Предметом дослідження** є методи та засоби моделювання системи вентиляції та кондиціонування з урахуванням технічних і експлуатаційних характеристик СЕС.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає в обґрунтуванні доцільності впровадження інтегрованої системи енергозабезпечення, що дає можливість підвищити рівень ефективності енергозабезпечення локального об'єкта.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у тому, що впровадження та експлуатація інтегрованої системи енергозабезпечення дозволяє підвищити енергоефективність локального об'єкта, зменшити викиди CO<sub>2</sub> з використання відновлюваних джерел енергії.

**Апробація** результатів представлена на III Науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ, 26-27 листопада 2020 року, м. Київ та XII Науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина», 7-8 травня 2020 року, м. Київ.

**Публікації.** Степаненко В.А., Веремійчук Ю.А., Експериментальне дослідження ефективності генерації дахової СЕС корпусу №22. XII Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина»; 7-8 травня 2020; м. Київ; С. 144-150.

**Інформаційні технології.** Для виконання розрахунків у розділі 3 магістерської дисертації використовувалось наступне програмне забезпечення: Audytor OZC, MS Excel, Северный ветер, System Advisor Model, Ventmaster.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЛОКАЛЬНИЙ ОБ'ЄКТ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ХАБ, ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА, ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ.

## 1. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 1.1 Загальна характеристика використання енергетичних ресурсів системами енергозабезпечення

Зменшення використання викопної енергії для опалення та охолодження залишається однією з найбільших проблем енергетичного переходу. Потреби в опаленні та охолодженні, включаючи безпосередній температурний режим у приміщеннях, гарячому водопостачанні, приготуванні їжі, тепловій промисловості та сільському господарстві, становлять понад 40% світового енергоспоживання (рис. 1.1). Відповідно до статистичних умов та наявних даних категорія «тепло» на цьому рисунку включає електроенергію, що використовується для опалення.

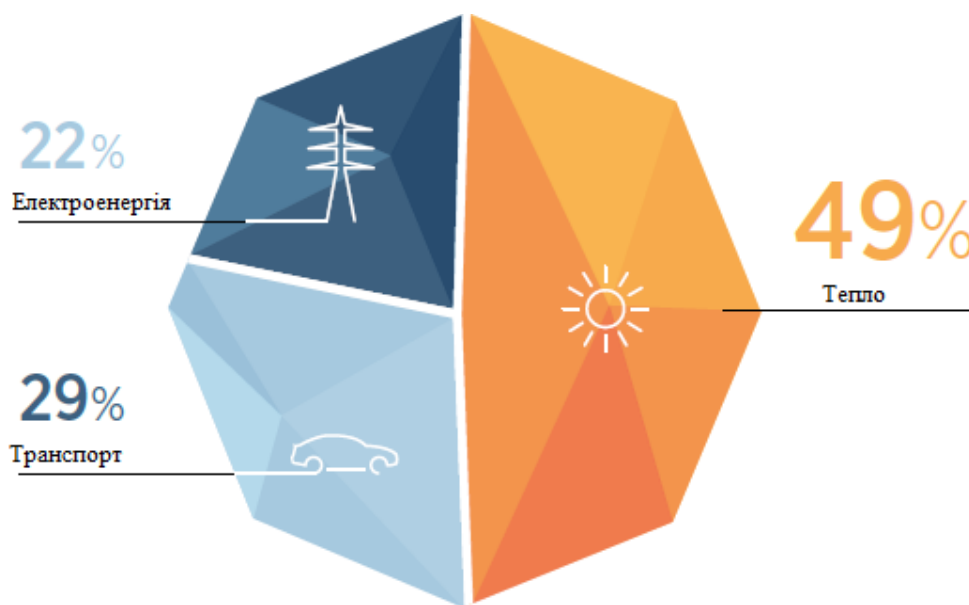


Рисунок 1.1 – Загальне кінцеве споживання енергії [1]

Більша частина енергії, що використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування (ОВіК), продовжує вироблятися з викопного палива (рис. 1.2). У 2019 році викопне паливо та невідновлювана електроенергія задовольнили понад 77% потреб, спожитими цими системами, при

традиційному використанні біомаси на рівні 11,9%. В останні роки використання сучасних відновлюваних джерел для задоволення потреб систем мікроклімату залишається обмеженим. Стійка біоенергія, сонячна, відновлювана теплова та геотермальна енергія задовольнили 8% попиту системами ОВіК, а відновлювана електроенергія становила додаткові 2% .



Рисунок 1.2 – Частка джерел енергії в загальному кінцевому споживанні енергії на системи ОВіК [2]

Велика частка споживання енергії означає, що швидка декарбонізація енергії, яка використовується для задоволення цих потреб, є критично важливою для досягнення цілей щодо клімату, довкілля та сталого розвитку. Незважаючи на цю реальність, споживання енергії системами ОВіК продовжує зростати і в основному засноване на викопному паливі.

На житлові та комерційні будівлі в США припадає майже 42% загального споживання енергії, тоді як значна частина споживання енергії в цьому секторі припадає на опалення, вентиляцію і кондиціонування (35% у житлових та 32% у комерційних будівлях). [3]

Також споживання енергії в будівлях є основною проблемою і в Європейському Союзі, де на будівельний сектор припадає 40% загального споживання первинної енергії [4]. Держави-члени Європейського Союзу зобов'язані впроваджувати заходи з енергоефективності для будівель відповідно до Директиви про енергетичну ефективність будівель [5].

Відповідно до директиви, на суспільно використовуваних будівлях корисною площею більш 500м<sup>2</sup>, мають вивішуватися енергетичні паспорти. Відносно будівель, що знаходяться в приватній власності, кожне рекламне оголошення про продаж або здачу в оренду повинно включати в себе показники витрати енергії. З 2021 року всі новобудови на території Європейського союзу повинні стати будівлями з низьким енергоспоживанням. Енергоефективними вважаються будівлі, при проектуванні яких був передбачений комплекс архітектурно-будівельних і інженерно-технічних заходів, що забезпечують істотне зниження витрат енергії на теплопостачання цих будинків у порівнянні зі звичайними (типовими) будівлями при одночасному підвищенні комфортності мікроклімату в приміщеннях.

Для оцінювання ефективності енерговикористання існують наступні системи сертифікації:

а) *HERS*, 100-бальна оцінка, що розроблена компанією *RESNET*. У даній системі зміна оцінювального значення в один бал відповідає зниженню енергоспоживання будівлі на 1% в порівнянні з стандартним будинком *HERS*.

б) *LEED* (застосовується в енергетиці екологічного проектування), стандарт містить 6 розділів: прилегла територія; ефективність використання водних ресурсів; енергія і атмосфера будівлі; матеріали і ресурсна база; якість внутрішнього повітря; нові стратегії в проекті та інноваційні рішення. Ці розділи містять різну кількість вимог, за відповідність яким будівля отримує відповідні бали.

в) *BREEAM* (метод екологічної оцінки ефективності будівлі). Особливою рисою цієї системи є методика присудження балів за декількома критеріями, що відносяться до аспектів безпеки життєдіяльності, впливу на довколишнє середовище і комфорт. Бали сумуються, попередньо урівноважуючись ваговими коефіцієнтами, що відображають актуальність на місці забудови. Після цього будівлі присвоюється загальна оцінка за п'ятибальною системою.

г) *OBO (ASHRAE)*. Нульовий енергобаланс відповідає нулю на шкалі, а середнє значення сукупності відповідає 100. Будівля з нульовим енергетичним балансом знаходиться зверху, а типова будівля (100 балів) розташоване ближче до середини. Будівля з нульовим енергетичним балансом використовує відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) для вироблення електроенергії чи тепла.

д) *DGNB* (стандарт Ради Німеччини зі сталого будівництва). Нестандартна концепція дозволяє даній системі оцінки будівель впевнено нарощувати свою популярність в будівельній індустрії. Основною відмінною рисою сертифікації за системою *DGNB* є використання принципів довгострокової оцінки. Система сертифікації враховує не тільки процес зведення будівлі і підбір використовуваних матеріалів, а й оцінює програму експлуатації будівлі на найближчі п'ятдесят років. Це суттєва перевага німецького стандарту над широко поширеними *BREEAM* і *LEED*. Німецька система передбачає присвоєння об'єкту одного з чотирьох рівнів. Нижча ступінь - «сертифіковано», потім - «бронза» і «срібло». Вищий знак якості - «золото».

Для отримання високого рівня сертифікації популярності набувають екологічні інноваційні рішення, що застосовуються в будівельній індустрії. Поняття «будівлі з нульовим споживанням» позначає всі будівлі і споруди, які повністю автономні і здатні самостійно забезпечити себе водними, тепловими ресурсами і електрикою з власних джерел. Для цього



впроваджуються різні інтегровані системи з використанням відновлювальних джерел енергії.

За останні роки ВДЕ швидко зростали, неодноразово побиваючи щорічні рекорди встановленої потужності та постійно збільшуючи свою частку у виробництві електроенергії. На ранніх стадіях кризи *Covid-19* виробництво відновлюваної електроенергії продовжувало зростати, досягнувши рекордної популярності в деяких країнах, незважаючи на загальне падіння попиту на електроенергію. Однак сучасна відновлювана енергія все ще забезпечує лише невелику частку кінцевого попиту, переважно в енергетичному секторі.

24 лютого 2018 р. Україна отримала статус повноправного члена Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (*IRENA*). Це міжурядова організація, яка підтримує країни у переході до стійкого енергетичного майбутнього і служить основною платформою для міжнародного співробітництва, центром передового досвіду та сховищем політики, технологій, ресурсів та фінансового знання з відновлюваної енергетики. *IRENA* сприяє широкому впровадженню та сталому використанню всіх видів відновлюваних джерел енергії, включаючи біоенергію, геотермальну енергію, гідроенергію, океан, сонячну енергію та енергію вітру [6].

За даними Держенергоефективності (рис. 1.3) на сьогодні понад 27 тис. домогосподарств в Україні використовують сонячні електростанції (СЕС) та забезпечують свої потреби в електроенергії. Загальна потужність СЕС у домогосподарствах сягає вже 712 МВт, а сумарний обсяг вкладених ними коштів складає близько 560 млн євро.

Як бачимо, все більше пересічних громадян долучається до виробництва такої «чистої» енергії. Основними інструментами стимулювання розвитку відновлюваної енергетики в Україні є: встановлення «зеленого» тарифу на електричну енергію, вироблену з альтернативних



конкретних рішень, що відповідають потребам цих систем, доступності ресурсів, рівні розвитку сектору відновлюваної енергетики, існуючій інфраструктурі та макроекономічним умовам. Наявні рішення дуже різняться за багатьма параметрами, включаючи різні температури, залежність палива та ланцюги постачання.

Перший крок у трансформації передбачає вдосконалення енергоефективності для зменшення попиту та втрат, де це можливо. Наприклад, для ефективної роботи теплових насосів деякі будівлі можуть потребувати значного оновлення енергоефективності, тобто комплексної термомодернізації. Іншим важливим елементом для всіх шляхів є наявність спроможної інфраструктури.

У більшості варіантів модернізації, відновлювані джерела енергії все ще можуть доповнюватися традиційними джерелами енергії. Наприклад, сонячні теплові системи для підігріву води можуть потребувати резервного живлення (наприклад, від газового котла). Тому необхідно розглядати широку стратегію декарбонізації систем ОВіК та застосувати комбінацію різних параметрів.

Електрифікація систем ОВіК передбачає використання ефективних електричних технологій, що живляться відновлюваною електроенергією, насамперед у будівлях та промислових підприємствах. Цей шлях поєднує зусилля щодо збільшення частки відновлюваних джерел енергії в енергетичному секторі, а також електрифікацію систем енергозабезпечення за допомогою енергоефективних приладів.

Хоча широко розповсюджена електрифікація систем ОВіК може суттєво збільшити загальний попит на електроенергію, вона також надає потенціал для забезпечення гнучкості системи електроенергетики шляхом вдосконалення реагування на попит, тим самим полегшуючи інтеграцію більшої частки змінних відновлюваних джерел енергії, таких, як сонячна фотоелектрична та вітрова.

## **1.2 Аналіз концепції *energy hub* як шлях для підвищення енергоефективності систем енергозабезпечення**

У поточному столітті енергетична галузь містить у собі одні з найголовніших проблем, що стоять перед людством. Ці проблеми виникають у різних сферах, таких як постачання, перетворення та споживання енергії. Через зростання населення, збільшення глобального попиту на енергію, дефіциту викопних видів палива та через екологічні проблеми енергетична безпека стала критичною проблемою для всіх країн світу. Взаємозв'язок енергетики з економічними, соціальними, екологічними аспектами подвоїло важливість цих питань, оскільки енергетична галузь рівноправно забезпечує кінцевих споживачів доступними за ціною, надійними, ефективними, проактивно регульованими та соціально прийнятними енергетичними послугами. Іншими словами, вона забезпечує консолідовані концепції національної безпеки, сталого розвитку, безпеки людини та її прав [8]. Тому досягнення стійких енергетичних систем у майбутньому стало одним із головних викликів країн у всьому світі.

Великі теплові станції були основним джерелом енергії в більшості країн в останні десятиліття. Викопне паливо для таких станцій є головним ресурсом, та перетворюється на іншу форму енергії (в основному, електричну) з низькою ефективністю. Ця вироблена енергія передається на великі відстані від виробництва до місця споживання за допомогою систем передачі, а потім розподіляється локально між кінцевими споживачами за допомогою складних систем розподілення. Зараз ці системи стикаються з серйозними викликами на всіх цих етапах, починаючи з виробництва. Проблеми, пов'язані зі використанням викопного палива та викидами парникових газів, призводять до посилення екологічних проблем, таких як глобальне потепління. Через дефіцит викопного палива використання теплових електростанцій не представляється доцільним. З іншого боку, високі інвестиційні витрати на інфраструктуру передачі та розподілу, їх значні втрати, поряд із проблемами захисту та управління цими

інфраструктурами, спричинили значне збільшення граничних затрат цих типів енергетичних систем. Тому вони не є життєздатним варіантом для майбутніх енергетичних систем. Інші системи, такі як мережі природного газу та централізованого теплопостачання, також стикаються з такими проблемами. Проте цими системами управляють локально та незалежно. Однак комбіноване виробництво тепла та електроенергії, поява нових технологій, таких як електричні теплові насоси, електромобілі тощо, призводять до неминучої інтеграції та взаємодії між різними енергетичними системами. Тому ми повинні враховувати всі галузі енергетики комплексно, а не лише електроенергію. У зв'язку з цим, ключовим пунктом для досягнення стійких енергетичних систем є звернення уваги на роль системи, в якій різні енергоносії взаємодіють оптимально та на різних рівнях [9].

Оптимальна продуктивність багатоенергетичних систем може призвести до технічних, економічних та екологічних переваг, таких як підвищення надійності системи, зниження експлуатаційних витрат, споживання палива та викидів шкідливих речовин. Однак для успішної роботи цих систем необхідна інтегрована система управління, яка може оптимально керувати різними компонентами системи [10]. Впровадження концепції *energy hub* (ЕН) є перспективним варіантом для оптимального управління багатоенергетичними системами та для досягнення комплексної моделі із стійких енергетичних систем. Основною метою впровадження ЕН є наближення до концепції таких систем, щоб отримати вигоду від синергії різних енергоносіїв, неієрархічної структури та інтегрованого управління різними енергетичними інфраструктурами.

Концепція ЕН була вперше введена в результаті проекту «Бачення майбутніх енергетичних мереж» [11] і була визначена як інтерфейс між споживачами, виробниками, пристроями накопичення та пристроями передачі різними способами: безпосередньо або через проміжне обладнання. На рис. 1.4 показана матрична модель концепції ЕН для зв'язку різних носіїв енергії на вході та виході через матрицю зв'язку. Кожен з елементів матриці

представляє внутрішні особливості *ЕН*, включаючи коефіцієнти підключення та трансформації внутрішніх компонентів *ЕН*.

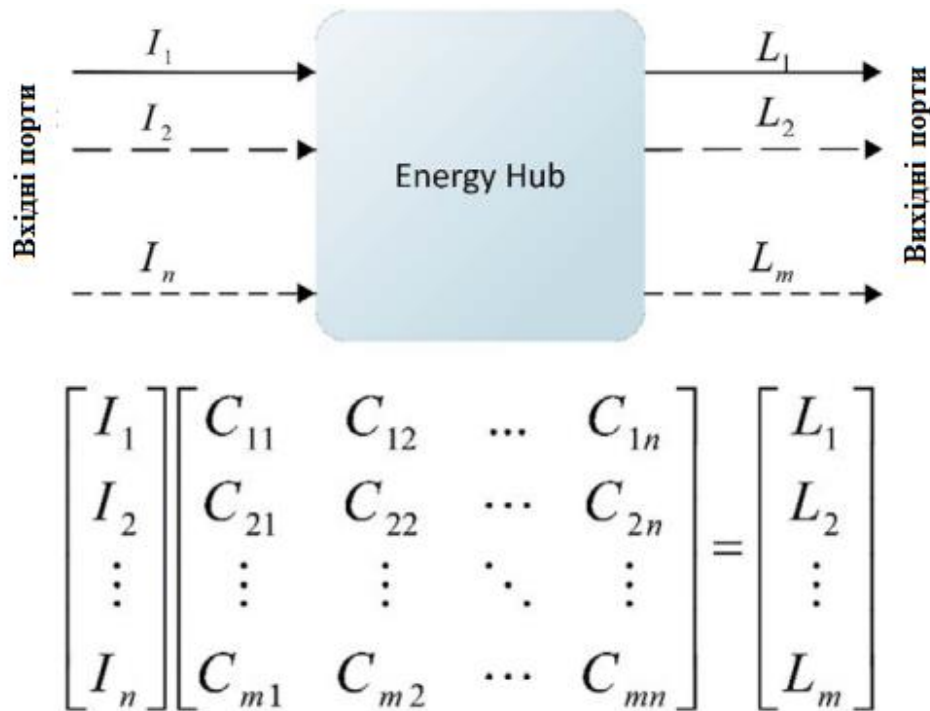


Рисунок 1.4 – Матрична модель перетворення енергії через *ЕН*

Як уже згадувалося, *ЕН* був вперше визначений у [11]. Потім це визначення було запропоновано в [12] наступним чином: «*ЕН* - це одиниця, яка забезпечує функції введення, виведення, перетворення та зберігання декількох носіїв енергії».

Іноді поряд з *ЕН* використовується слово гібрид, якщо це слово стосується взаємодії різних носіїв енергії в *ЕН*. Отже, в результаті енергетичний хаб або гібридний енергетичний хаб можна визначити як місце, де відбувається виробництво, перетворення, зберігання та споживання різних енергоносіїв. Виходячи з цих визначень, можна розглянути різні типи структур *ЕН*, як показано на рис. 1.5.

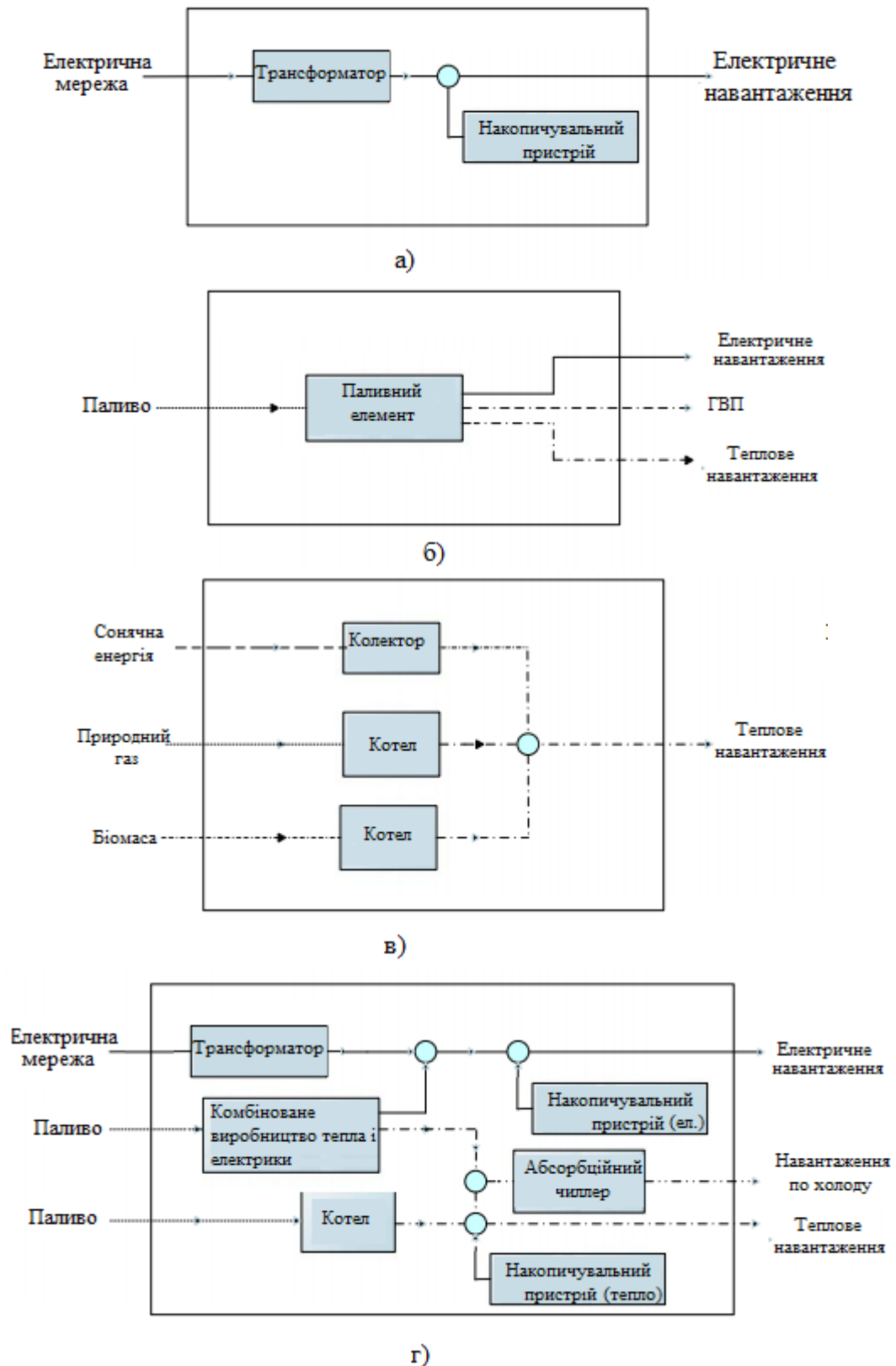


Рисунок 1.5 – Різні типи структур ЕН

Традиційні системи енергопостачання (наприклад, електрична мережа) мають ієрархічну структуру, та в основному відповідають за виробництво,

передачу, планування та управління енергією, як показано на рис. 1.5(а). Відповідно до визначення, наведеного в [11], цей показник також можна розглядати як *ЕН*, оскільки співвідносить споживача та виробників енергії разом за допомогою систем перетворення, передачі та зберігання. Однак поява розподілених енергетичних ресурсів, особливо відновлюваних джерел енергії, та таких питань, як розвиток інфраструктури, якість електроенергії, надійність постачання, складність з'єднань, захист та екологічні проблеми зіткнулися з оптимальними показниками, і тому такі системи на даний час мають серйозні проблеми.

Як уже згадувалося, одним з основних пунктів вирішення питань є перехід до декількох систем енергоносіїв, які вимагають застосування концепції гібридного енергетичного хаба. Гібридні енергетичні вузли мають у своїй структурі різні носії енергії. Таким чином, *ЕН* на рис. 1.5(б) та 1.5(в) можна вважати гібридними енергетичними хабами. Але такі системи також мають серйозні проблеми у своїй структурі. 1.5(б) не вирішує проблему попиту, де пропозиція різних потреб залежить від одного енергоносія. 1.5(в) може зіткнутися з проблемою доступності. Отже, для вирішення цих проблем може бути прийнята багатовхідна та багатовихідна система, яка має щонайменше два входи та два виходи [13].

Однак моделі *ЕН* повинні мати системи генерації, які можуть використовувати енергоносії, щоб задовольнити більше ніж один попит. Ця структура призводить до підвищення ефективності, зменшення споживання та витрат первинної енергії. Найпростішим випадком цих систем є системи когенерації, найпоширенішим прикладом яких є системи теплоелектроцентралей [14]. Приклад таких систем можна побачити на рис. 1.5(г), яка є однією з найбільш широко використовуваних структур *ЕН*.

У такій структурі певний попит може бути задоволений різними способами. Це призводить до підвищення надійності пропозиції та збільшення ступеня свободи попиту. Ця система дозволяє виконувати різні операції, такі як технічне обслуговування різних компонентів, з більшою



надійністю. З іншого боку, збільшення ступеня свободи постачання з використанням різних енергоносіїв або компонентів у хабі забезпечує можливість оптимізації. Вхідні параметри та компоненти *ЕН* можна охарактеризувати на основі вартості, викидів, доступності та інших критеріїв, що дозволяє оптимізувати диспетчеризацію різних джерел енергії та компонентів.

*ЕН* слід використовувати як модель для переходу до стійких енергетичних систем у майбутньому. Електроенергія та природний газ, які є основними джерелами введення моделей *ЕН*, в основному виробляються з джерел викопного палива. Крім того, мережі передачі та розподілу цих енергоносіїв мають багато проблем. Тому в довгостроковій перспективі ці ресурси не можуть бути хорошим варіантом для стійких *ЕН*. Отже існує великий потенціал для використання альтернативних джерел, особливо ВДЕ, у таких моделях. ВДЕ можна використовувати для різних цілей, наприклад, сонячну енергію, біомасу, геотермальне тепло - для виробництва тепла та електроенергії, енергію вітру - для виробництва електроенергії тощо.

Основна проблема ВДЕ полягає в їх періодичному характері та коливанні їх виробництва, що ускладнює контроль та планування. Насправді, у багатьох випадках виробництво ВДЕ не відповідає структурі споживання, і це створює розбіжність між виробництвом та попитом. Дисбаланс між виробництвом і попитом може виникнути з двох основних причин. По-перше, через раптового падіння процесу виробництва або передачі енергії. А по-друге, через раптовий ріст попиту. Традиційні електромережі, які в основному базуються на синхронних машинах, мають потенційний запасний обертовий резерв, щоб реагувати на швидкі зміни попиту. В ізольованих системах, особливо в системах, що базуються на ВДЕ, цей дисбаланс може зіграти важливу роль у надійності системи [15, 16].

Для вирішення цієї проблеми потрібно використовувати системи накопичення енергії для створення балансу між попитом та виробництвом.

Додавання акумуляторів енергії забезпечить підвищення надійності в режимі поза мережею та полегшення інтеграції ВДЕ в систему [17].

Ще однією перевагою використання систем накопичення є зменшення коливань та невизначеностей в енергетичних системах, як правило, в електричних. Акумуляування може використовуватися в енергосистемах для допоміжних служб з метою поліпшення системних умов, якості електроенергії та вирішення проблем, пов'язаних з її стабільністю. Також можна вказати на покращення інерції мережі для реагування на коливання, регулювання частоти та напруги, збереження мережевої синхронізації, забезпечення прямої напруги у разі несправностей, зменшення потреби в більшій інфраструктурі та оптимізування використання існуючих потужностей [18]. Крім того, така система може використовуватися для переведення навантаження в різні цінові періоди, так щоб накопичувальна енергія в непікові періоди використовувалася в пікові. Це на додачу до зменшення експлуатаційних витрат системи, призводить до зменшення пікового навантаження та покращення кривої навантаження[19].

Третьою метою використання систем акумуляування є реалізація розумних енергетичних систем з інтелектуальними технологіями для переходу до стійких енергетичних систем. Використання локального накопичення на стороні попиту за допомогою інтелектуальних технологій оптимізує використання обладнання та ресурсів.

### **1.3 Аналіз нормативно-правового забезпечення щодо ефективності систем енергозабезпечення**

Споживання енергії системами енергозабезпечення будівель є основною проблемою і в Європейському Союзі, де на будівельний сектор припадає 40% загального споживання первинної енергії.

Тому з метою підвищення енергозабезпечення в ЄС були введені наступні директиви:

1. Директива по енергоспоживанню будівель (*Energy Performance of Buildings Directive*). Директива встановлює вимоги до енергетичної ефективності будівель. Основна мета впровадження цього документа - забезпечити на державному та міжнародному рівні бази для поліпшення енергетичної ефективності житлових та громадських будівель через встановлення необхідних якісних і кількісних показників, що інтерпретують енергоспоживання та енергоефективність для нових та існуючих будівель, що реконструюються, для систем енергозабезпечення та для зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Директива вказує на необхідність отримання енергетичного паспорта будівлі (*energy performance certificates*). У випадку будівель громадського користування інформація про енергетичний паспорт повинна бути оприлюдненою та легкодоступною. Директива по енергоспоживанню будівель також містить вимоги щодо будівництва будівель з нульовим енергоспоживанням.

2. Директива по екологічним вимогам до продукції, що впливає на споживання енергії (*Ecodesign Requirements for Energy-Related Products Directive*) містить в собі вимоги, що стосуються всієї продукції, котра може споживати або впливати на споживання енергії.

3. Директива щодо маркування продукції класом енергетичної ефективності (*Energy Labelling Directive*). Директива містить вимоги відносно елементів, що впливають на енергоспоживання будівель, включаючи арматуру і опалювальні прилади системи опалення, двигуни установок, насоси, вентилятори, освітлювальні прилади та інше обладнання систем енергозабезпечення.

4. Директива щодо збільшення частки використання поновлюваних джерел енергії (*Directive for the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources*). Збільшення відносної частки енергії, що отримується з відновлюваних джерел, є найважливішою частиною енергетичної політики ЄС. Європейський союз поставив перед собою мету отримувати 20%

первинної енергії з поновлюваних джерел до кінця цього року. Дана директива містить відповідні вимоги до країн - членів ЄС.

5. Директива по енергетичній ефективності (*Energy Efficiency Directive*). Документ наказує проведення аудиту енергоспоживання і реконструкцію існуючих будівель. Окремо розглядається питання щодо збільшення ефективності систем комбінованого виробництва електричної і теплової енергії.

Енергетична політика ЄС включає в себе ще кілька інструментів:

- Програму енергетично розумної Європи (*Intelligent Energy Europe*) з навчання енергозбереженню та поширенню знань про енергетику;
- сайт *BUILD UP* для інформаційного обміну в галузі енергоефективних технологій;
- програму *Skills* для професіоналів будівельного ринку, які бажають поліпшити свої навички в сфері енергетичної ефективності.

На додачу до законодавчих та адміністративних дій ЄС пропонує і програми для фінансування проектів в області підвищення енергоефективності.

Відповідно до цих директив та Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» було схвалено в січні цього року концепцію реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії [20].

У свою чергу, політична увага та підтримка використання відновлюваних джерел енергії у секторі систем енергозабезпечення залишаються надзвичайно обмеженими у глобальному масштабі. Тільки 49 країн (більшість із країн Європейського Союзу) мали національні цілі на відновлювані джерела якраз для систем ОВіК на кінець 2019 року, в порівнянні з 166 країнами, цілі яких стосуються відновлюваних джерел енергії. З них лише Данія мала на меті покрити споживання системами ОВіК 100% відновлюваною енергією [21].

Повільний темп розвитку спостерігається також у підтримці регуляторної політики. На кінець 2019 року національна регуляторна політика щодо систем енергозабезпечення діяла лише у 23 країнах, і за останні роки їх кількість дуже мало змінилася. У рамках пакету Європейського Союзу "Чиста енергія для всіх європейців" усі країни ЄС-27 подали плани щодо збільшення частки відновлюваних джерел енергії для систем ОВіК на 1,3 процентного пункту щороку до 2030 року, хоча не всі передбачають регулятивні заходи.

Фінансова політика щодо відновлюваних джерел енергії в системах опалення, вентиляції та кондиціонування є дещо поширенішою, ніж регуляторна політика, хоча їх ефективність різниться залежно від ринкового середовища. У 2019 році у 57 країнах була проведена фінансова політика, 19 з яких також мали регуляторну політику. В цілому 61 країна мала або регуляторну політику, або фінансовий стимул, або обидва параметри (рисунки 1.6 та 1.7)

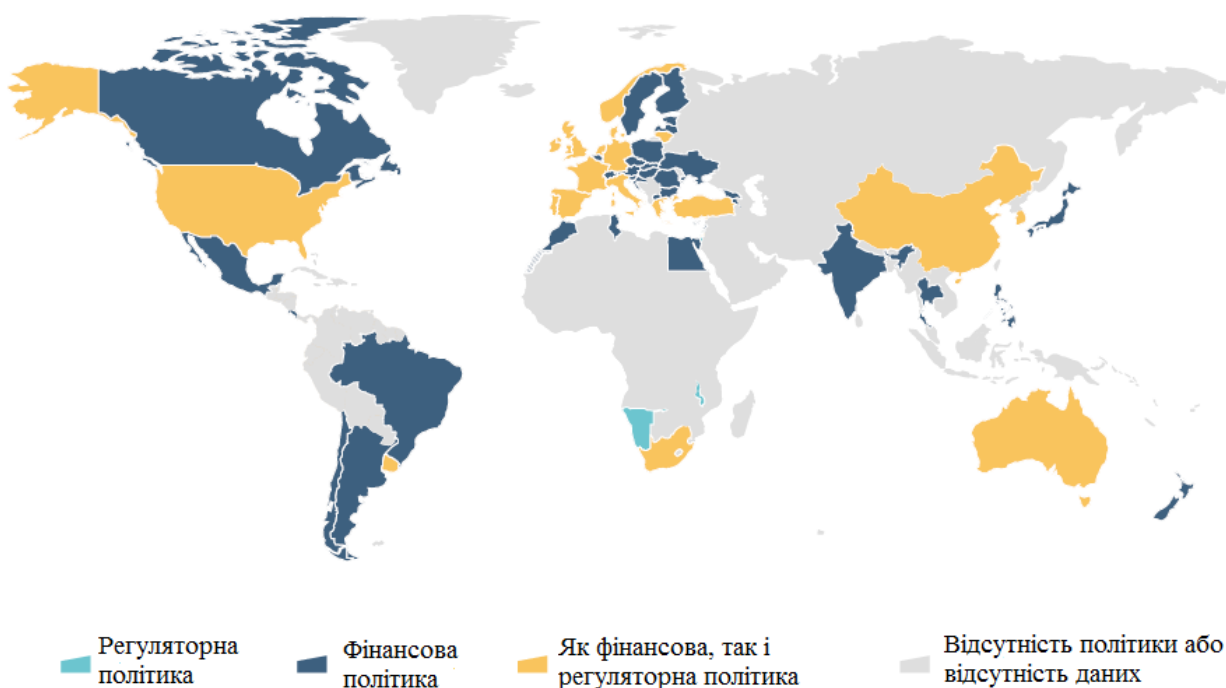


Рисунок 1.6 – Національна політика щодо відновлюваних джерел для систем енергозабезпечення [21]

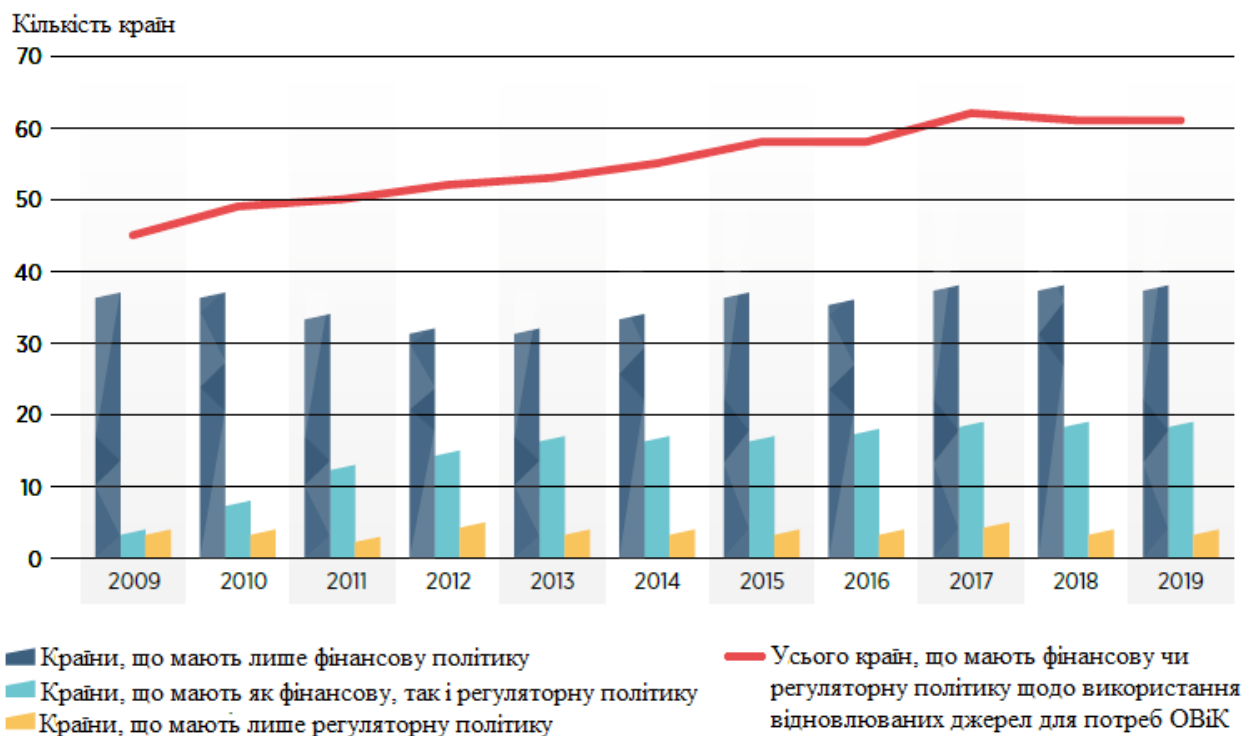


Рисунок 1.7 – Країни з фінансовою чи регуляторною політикою щодо використання відновлюваних джерел енергії для потреб ОВіК [21]

Якщо брати до уваги Україну, то її сфера енергозбереження в плані законодавства досить врегульована: вісім законів України, п'ять указів Президента, 30 постанов і 17 розпоряджень Кабінету Міністрів України. Крім того, прийнято Державну цільову програму енергоефективності, 15 галузевих та 27 регіональних програм енергоефективності.

Наприклад, з метою підвищення рівня енергетичної ефективності в нашій державі було прийнято Закон України «Про енергетичну ефективність будівель», який встановлює мінімальні вимоги до будівель як кінцевого споживача енергії. Також потрібно дотримуватися положень, що наведені у Законі України «Про енергозбереження»

При проектуванні нових систем вентиляції та кондиціонування, а також при технічному переоснащенні вже існуючих систем потрібно застосовувати норми, що викладені у ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування"[22].

## **Висновки до розділу 1**

В даному розділі проведено аналіз ефективності систем енергозабезпечення, і було з'ясовано, що більша частина енергії, яка використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування, продовжує вироблятися з викопного палива.

Тому покращення енергоефективності є однією з важливих стратегій уповільнення зростання попиту та пом'якшення негативного впливу на здоров'я, економіку та навколишнє середовище. Поряд з ефективністю, відновлювана енергія відіграватиме фундаментальну роль у декарбонізації енергії, що використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування.

Впровадження інтегрованої системи енергозабезпечення є ефективним способом підвищення енергоефективності, зменшення викидів CO<sub>2</sub> та збільшення використання відновлюваної енергії, а також представляє собою чудові можливості для виробництва, перетворення та зберігання енергії у взаємозв'язаних інфраструктурах для операторів системи та споживачів з метою переходу до більш енергоефективних та гнучких систем.

Також в даному розділі проведено аналіз нормативно-правового забезпечення щодо ефективності систем енергозабезпечення, в результаті якого було з'ясовано, що Україна та країни Європи зобов'язались впроваджувати заходи з енергоефективності та стимулюють збільшення частки відновлюваних джерел енергії в загальному споживанні енергії системами енергозабезпечення.

## **2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ПІДХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ**

### **2.1 Аналіз методів та способів підвищення рівня енергоефективності в системах вентиляції та кондиціонування**

Одним із основних завдань при проектуванні систем забезпечення мікроклімату будівель різного призначення є забезпечення умов для комфортного перебування людей при зниженні витрат споживаних енергоресурсів.

До традиційних застосовуваних способів енергозбереження відносяться методи, пов'язані зі зниженням інфільтрації та ексфільтрації повітря, а також із зменшенням теплових втрат через огорожувальні конструкції будівель і споруд. Проте в сучасних умовах все більшої актуальності набувають роботи із застосуванням технологічних і технічних рішень по організації і конструктивним виконанням систем забезпечення мікроклімату приміщень житлових і громадських будівель, спрямованих на скорочення споживання енергії.

Відновлення тепла від витяжного вентиляційного повітря в існуючих будівлях вважається важливим засобом для досягнення цієї мети, оскільки вентиляція має значний вплив на енергетичні показники будівель. Ця енергія використовується для покриття втрат тепла на припливне вентиляційне повітря та переміщення повітряних мас при механічній вентиляції. Система вентиляції також впливає на проникнення повітря через огороження будівлі.

#### **2.1.1 Метод утилізація теплоти повітря**

З врахуванням зростання вартості енергоресурсів і обмежень на встановлену потужність вентиляційного обладнання стають популярні пристрої утилізації теплоти повітря, що видаляється з приміщення [23].



До способів зменшення споживання енергії в тепlopостачанні відносяться рекуперація, регенерація і рециркуляція (див. рис. 2.1). Рекуперація - це процес, при якому припливне повітря обігрівается теплим викидним. В свою чергу регенерація є процесом відновлення складу повітря, з очищенням від продуктів життєдіяльності людини і технологічних викидів. Рециркуляція - це повторне використання відпрацьованого повітря, тобто підмішування повітря, що видаляється з приміщення, до зовнішнього повітря в пропорціях, визначених проектним рішенням, і подача цієї суміші в приміщення. При використанні двох двигунів можливе, як використання припливно-витяжної вентиляції, так і повної або часткової рециркуляції, і нагадує рух рідини в трьохходовому крані по малому або великому колу.

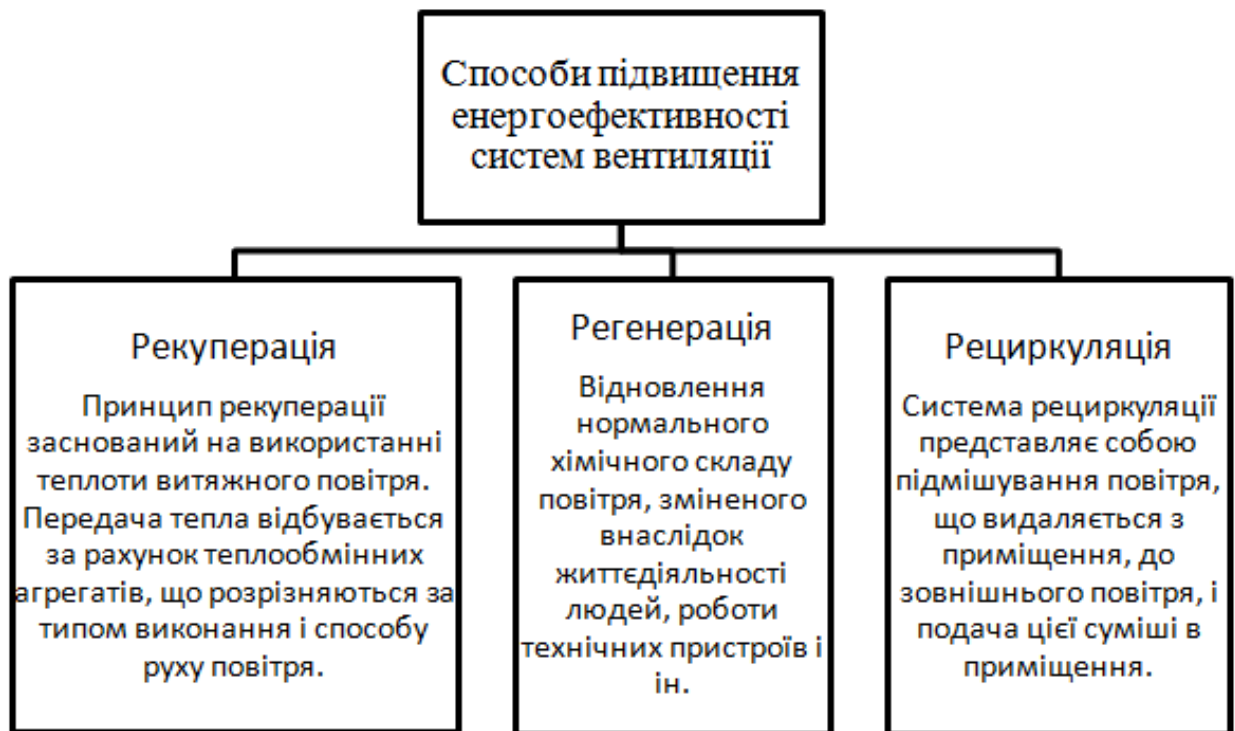


Рисунок 2.1 – Способи підвищення енергоефективності систем вентиляції

Одним із способів зменшення електроspоживання системами вентиляції є регулювання продуктивності вентиляційних установок шляхом зміни швидкості обертання їх робочого елемента. Ефективність даного способу регулювання продуктивності досягається за рахунок того, що

зменшення швидкості обертання робочого колеса призводить до одночасного зменшення його продуктивності і напору на нагнітання повітря [24].

В даний час для здійснення теплообміну використовують кілька основних типів теплообмінників-утилізаторів теплоти витяжного повітря, які можна розділити за двома основними критеріями:

1) за ступенем централізації системи:

- теплообмінники-утилізатори, що входять до складу центральних вентиляційних установок;
- утилізатори теплоти в складі автономних кондиціонерів;
- місцеві, децентралізовані установки з утилізацією теплоти, як правило, призначені для забезпечення належного рівня повітряного комфорту в одному приміщенні (офіс, кімната, квартира, котедж);

2) за способом теплообміну:

- пластинчасті рекуператори - теплоутилізатори даного виду знайшли широке застосування при проектуванні вентиляційних систем за рахунок простоти своєї конструкції і відносно високого відсотка коефіцієнта корисної дії (ККД). Теплообмінник складається з пластин, найчастіше з міді або алюмінію, рідше з пластика чи міцної целюлози, які знаходяться в нерухомому стані. Повітря, потрапляючи в пристрій, проходить через ряд касет, передаючи тепло через стінки, в процесі роботи відбувається одночасний процес охолодження і нагрівання. Можливі варіанти виконання вказані на рис. 2.2. Даний вид рекуператора компактний і надійний, пластинчасті рекуператори дуже рідко виходять з ладу. Важливою перевагою таких рекуператорів є те, що вони не споживають електроенергію. Серед недоліків пристрою - в холодний період року пластинчаста модель працює з обмеженнями, так як її витяжні канали можуть збирати конденсат, який замерзає при мінусовій температурі. Ефективність, тобто ККД класичного пластинчастого рекуператора перехресного типу становить від 50 до 60%. Зараз з'явилися на ринку високоефективні пластинчасті рекуператори

перехресно-протиточного типу, у яких, за рахунок збільшення поверхні теплообміну, ККД досягає 80% [25,26];

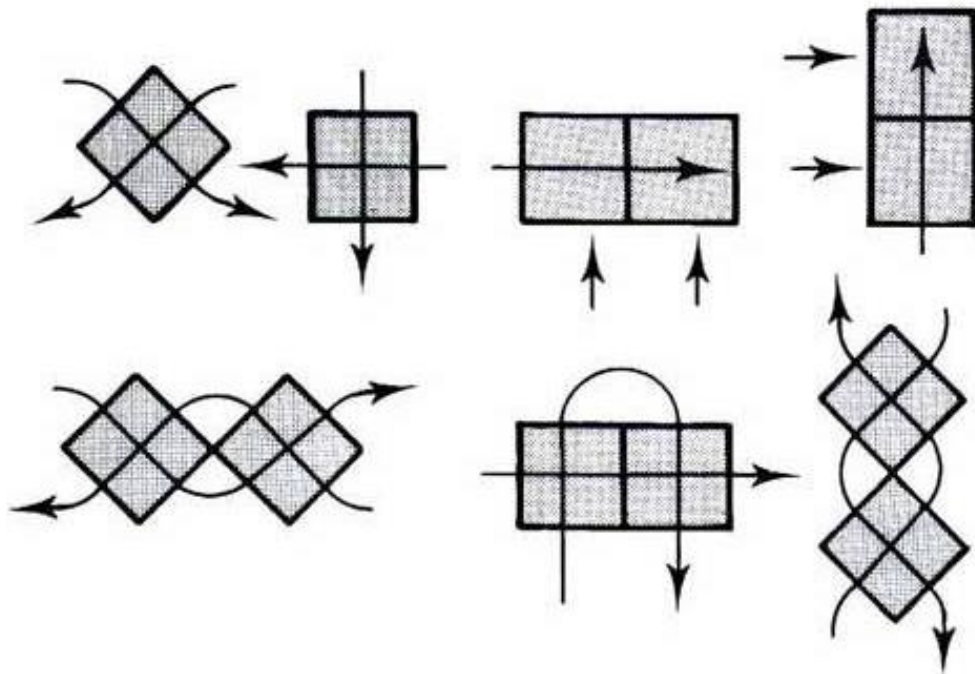


Рисунок 2.2 – Можливі варіанти виконання перетину повітряних потоків [27]

- роторні рекуператори (рис. 2.3) - в таких установках теплообмінником виступає барабан, і завдяки своєму обертанню передає не тільки тепло, а й також частину вологи. Відмінною рисою такого рекуператора є захист від обмерзання. Тому його найефективніше використовувати в містах з суворим кліматом. ККД такого рекуператора може досягати до 85% [28]. Головний мінус такого варіанта рекуперації - змішування витяжного і припливного повітря, а в деяких випадках, наприклад у медичних установах при централізованій вентиляції, це заборонено. Ще до одного з недоліків можна віднести те, що для обертання теплообмінника потрібна електроенергія. Споживання її невелике, але все - таки воно присутнє;

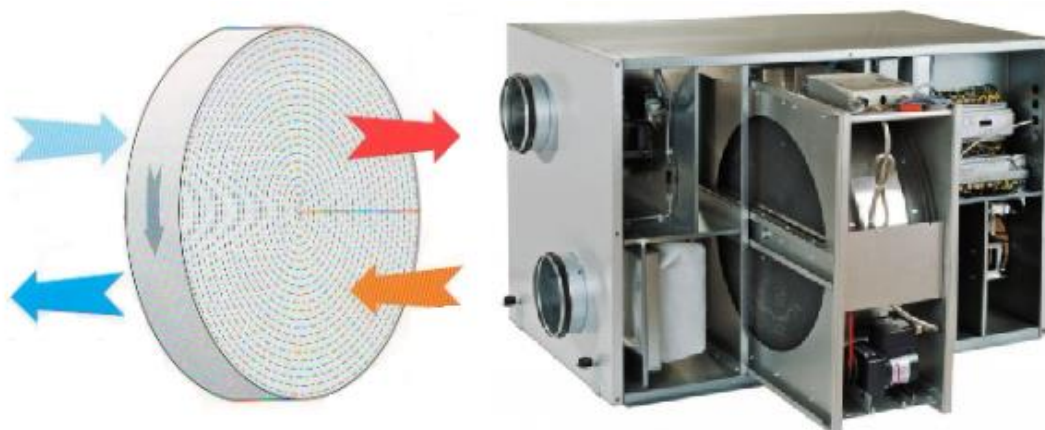


Рисунок 2.3 – Припливно-витяжна установка з роторним рекуператором

- теплообмінники з проміжним теплоносієм. Принцип роботи такого рекуператора полягає в наступному: на припливному і витяжному повітропроводах встановлюються теплообмінники повітря/вода. Між ними постійно циркулює рідина (як правило - антифриз). У витяжному каналі рідина підігрівається, отримуючи тепло від викидного повітря. У припливному каналі рідина охолоджується, нагріваючи тим самим зовнішнє повітря.

Головна відмінність і перевага рекуператорів з проміжним теплоносієм від роторних і пластинчастих - це можливість розміщення припливної та витяжної установок в різних місцях. Відстань між установками визначається тільки витрато-напірною характеристикою насоса і діаметром трубопроводів. Головний недолік рекуператора з проміжним теплоносієм - це відносно невеликий ККД (близько 40%) [29].

Основні переваги і недоліки кожного з розглянутих вище видів теплоутилізаторів зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз різних конструкцій теплообмінників

Вид теплообмінника	Основні переваги	Основні недоліки	ККД
Пластинчастий	1. Порівняно високий ККД 2. Відносно невисока вартість 3. Простота конструкції 4. Надійність в експлуатації. 5. Не споживає електроенергію 6. Немає перетікання витяжного повітря в припливне	1. Можливість обмерзання при температурах припливного повітря нижче 0 ° С. 2. Монтаж тільки в опалювальному приміщенні	50–80%
Роторний	1. Захист від обмерзання 2. Високий ККД 3. Повернення вологи 4. Можливий монтаж в неопалюваному приміщенні або на вулиці	1. Наявність двигуна для обертання ротора 2. Часткове змішування потоків повітря при експлуатації (до 5%)	70–85%
З проміжним теплоносієм	1. Повністю виключений перетік витяжного повітря в припливне 2. Можливість розміщення притоку та видалення повітря в різних місцях	1. Наявність насоса 2. Невисокий ККД	30–40%

### 2.1.2 Аналіз ефективності використання систем із змінною витратою повітря

Вентиляційна система може характеризуватися як система із постійною (CAV) або змінною витратою (VAV). Система VAV вже є домінуючою в промислових, комерційних, шкільних та офісних будівлях через різну завантаженість приміщення протягом дня та непередбачувані коливання концентрації CO<sub>2</sub>.

Слід зазначити, що така система є можливою лише в тому випадку, якщо рівень забруднення та потреба у вентиляційному повітрі з часом

змінюються. VAV-система базується на оптимізації управління для забезпечення високої продуктивності та ефективності використання, використовуючи наступні стратегії: оптимальний старт/ зупинка, оптимізація тиску вентилятора та вентиляції, режим очікування.

Оптимальний старт/ зупинка (рис. 2.4) використовує систему автоматизації будівель для врахування теплової інертності будівлі та графіка перебування людей. Ця стратегія зменшує кількість робочих годин системи та економить енергію, уникаючи необхідності підтримувати результуючу температуру в приміщенні, якщо будівля чи приміщення не використовуються.

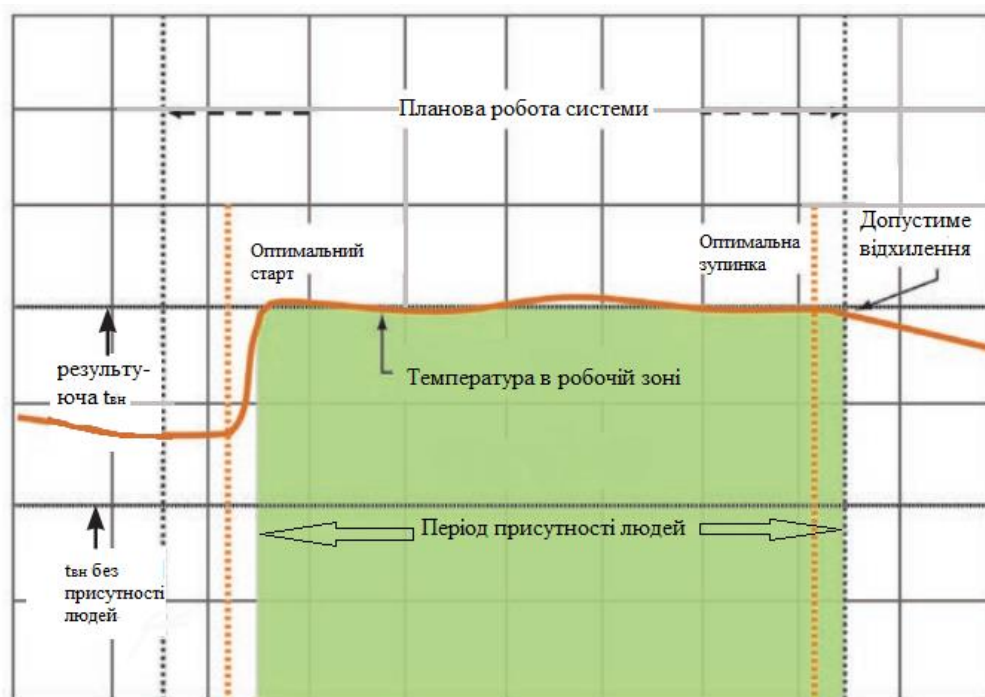


Рисунок 2.4 – Стратегія оптимального старту та зупинки

Оптимізація тиску вентилятора. У результаті зміни навантажень на систему вентиляції чи кондиціонування термінали VAV встановлюються для контролю потоку повітря, що подається в зони. Це призводить до зміни тиску в трубопроводах подачі. У багатьох системах датчик тиску розташований приблизно на двох третинах відстані по головному повітропроводу. Блок

подачі повітря VAV варіює швидкість вентилятора живлення, щоб підтримувати статичний тиск у цьому місці на постійному заданому рівні. Однак при такому підході система зазвичай генерує більше статичного тиску, ніж потрібно. Тому на терміналах VAV використовуються контролери зв'язку для оптимізації функції регулювання статичного тиску, щоб мінімізувати тиск у каналі та заощадити енергію вентилятора. В цьому випадку контролер VAV знає поточне положення заслінкок при регулюванні повітряного потоку. Система автоматизації будівель постійно проводить моніторинг цих окремих контролерів, шукаючи термінал VAV з максимально відкритою заслінкою на даний момент. Потім задане значення для припливного вентилятора скидається, щоб забезпечити достатньо тиску, щоб принаймні одна заслінка була повністю відкрита. Це призводить до того, що припливний вентилятор генерує найменше значення статичного тиску, щоб проштовхнути необхідну кількість повітря через всі потрібні заслінки.

Оптимізація вентиляції. У типовій системі VAV система вентиляції подає свіже зовнішнє повітря до декількох індивідуально контрольованих зон. Вентиляція з контрольованим попитом передбачає зміну потоку вхідного повітря у відповідь на зміни в використанні зон. Хоча зазвичай застосовуються датчики вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), датчики заповнення або графіки часу також можуть бути використані. Одним із підходів до оптимізації вентиляції в багатозоновій системі VAV є поєднання цих різних стратегій на рівні зони (з використанням кожної, де це найкраще підходить) із зміною продуктивності вентиляції на рівні системи.

Режим очікування. Можливий варіант поєднання датчика заповнення з графіком часу доби. Ця комбінація може використовуватися для переключення зони в режим очікування. У цьому режимі всі або деякі освітлювальні прилади в цій зоні можна вимкнути, задані температури можна підвищити або знизити від  $0,5^\circ\text{C}$  до  $1^\circ\text{C}$ , а також вимоги щодо вентиляції можуть бути зменшені, як правило, до рівня витрати припливного повітря, пов'язаної з забрудненням від огорожувальних конструкцій. Це зменшує як

витрати на нагрів/охолодження зовнішнього повітря, так і використання енергії вентилятора. Коли датчик заповнення показує, що зона знову зайнята, ці налаштування повертаються до нормального режиму.

### 2.1.3 Метод безперервного введення в експлуатацію системи вентиляції

Також під час експлуатації будівлі відбувається погіршення компонентів систем ОВіК, що призводить до зниження енергоефективності. Безперервне введення в експлуатацію систем вентиляції - це нова технологія для підтримання та підвищення енергоефективності. Іншими словами це постійне введення систем в експлуатацію протягом усього життєвого циклу будівлі. Цей метод спрямований на оцінку, вдосконалення та оптимізацію роботи всіх інженерних систем [30]. Згідно з Федеральною програмою енергоменеджменту у США, безперервне введення в експлуатацію забезпечило в середньому економію 20% із терміном окупності менше трьох років (часто один-два роки) у понад 130 великих будівлях [31]. Для оцінки показників енергоспоживання будівлі необхідним етапом є енергетичне порівняння. Енергетичний бенчмаркінг визначається як макроскопічний рівень оцінки експлуатаційних характеристик будівлі, що використовує методи для вимірювання його ефективності щодо іншої будівлі або попередньої ефективності.

Загалом були розроблені різні методи енергетичного порівняльного аналізу. Ці методи можна класифікувати на метод білого, сірого та чорного ящика. Методом білого ящика називають метод, заснований на первинних принципах, який включає фізичні обмеження в моделювання будівельних компонентів і, отже, вимагає великої кількості проектної документації. Прикладами такого аналізу є модифікований метод акумулювання та детальний метод моделювання енергії [32].

В свою чергу, метод чорного ящика використовує прийоми підбору даних, а не фізичні знання, тому вимагає попередньо обраної статистичної моделі та вихідних даних. Приклади порівняльного аналізу включають метод



штучної нейронної мережі та векторний машинний метод підтримки[33]. Принцип методу сірого ящика лежить посередині між методами білого та чорного ящика, оскільки він поєднує як фізичні знання системи, так і методи підбору даних для отримання корисної енергетичної моделі. Одним із прикладів такого принципу є метод денного ступеня та його різні варіації[34].

За існуючими методами порівняльного аналізу можна розрахувати чотири типи базових ліній: попередні показники та поточні показники порівнювальних будівель, попередні показники та передбачувані показники тієї самої будівлі. Незважаючи на те, що перші два типи вихідних показників часто використовуються регуляторами та оприлюднюються для громадськості, щоб заохотити власників підвищити енергоефективність своїх будівель [35], решта часто використовуються для відстеження та моніторингу енергії всередині середовища.

Вибір належного методу повинен базуватися на вимогах проекту, наявних вхідних даних, наявних даних моніторингу та досвіді енергоменеджера. Хоча методам білого ящика слід надавати вищий пріоритет через прозорість процедури обчислення, методів чорного або сірого ящиків може бути достатньо.

## **2.2 Методика розрахунку і моделювання роботи систем вентиляції та кондиціонування, огляд програмного забезпечення**

Системи вентиляції та кондиціонування повинні забезпечувати нормовані параметри мікроклімату, які вибираються відповідно до області застосування та характеризуються такими параметрами, як: температура, відносна вологість та швидкість руху повітря, температура поверхонь та інтенсивність теплового опромінення.

Загалом виділяють наступні умови мікроклімату:

1. Підвищені оптимальні (відповідно з ДСТУ Б *EN ISO 7730* категорія "A") – передбачають перебування людей з особливими потребами, наприклад дітей дошкільного віку, людей похилого віку, інвалідів, пацієнтів лікарень);
2. Оптимальні (відповідно з ДСТУ Б *EN ISO 7730* категорія "B") – мають виконуватися у випадку постійного перебування людей у нових будівлях або існуючих при капітальному ремонті чи їх термомодернізації;
3. Допустимі (відповідно з ДСТУ Б *EN ISO 7730* категорія "C") – мають виконуватися у випадку тимчасового перебування людей;
4. Обмежено допустимі (відповідно з ДСТУ Б *EN ISO 7730* категорії не мають) – застосовуються для будівель з обмеженим використанням протягом року).

При виборі результуючої температури повітря приймають до уваги теплоізоляційні властивості вбрання людини (табл. 2.2 ) та рівень метаболізму (табл.2.3). В таблиці 2.2 наведено термічний опір лише окремих типових комбінацій одягу, що бралися до уваги при визначенні оптимальних умов мікроклімату. Вибір результуючої температури та допустимого діапазону відхилень здійснюється за допомогою рис. 2.5.

Більшість нових будівель, точніше їх об'єми визначаються згідно до проектної кількості людей, а тому відносна вологість повітря має відповідати параметрам, що наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.2 – Термічний опір типових комбінацій одягу [22]

Робочий одяг	Термічний опір	
	кло	$m^2 \cdot ^\circ C / W$
Труси, сорочка, костюм, шкарпетки, черевики	0,8	0,125
Труси, спідня спідниця, панчохи, сукня, взуття	0,7	0,105
Спідня білизна, сорочка, брюки, шкарпетки, черевики	0,7	0,110

Таблиця 2.3 – Рівень метаболізму людини залежно від її стану та категорії виконуваних робіт [22]

Стан людини, категорія робіт	Рівень метаболізму	
	Вт/м <sup>2</sup>	мет
Напівлежачий	46	0,8
Сидячий, розслаблений	58	1,0
Робота сидячи (офіс, заняття в школі і т.д.)	70	1,2
Легка робота стоячи	93	1,6
Середня робота стоячи	116	2,0
Ходіння по рівнинній поверхні:		
2 км/год.	110	1,9
3 км/год.	140	2,4
4 км/год.	165	2,8
5 км/год.	200	3,4

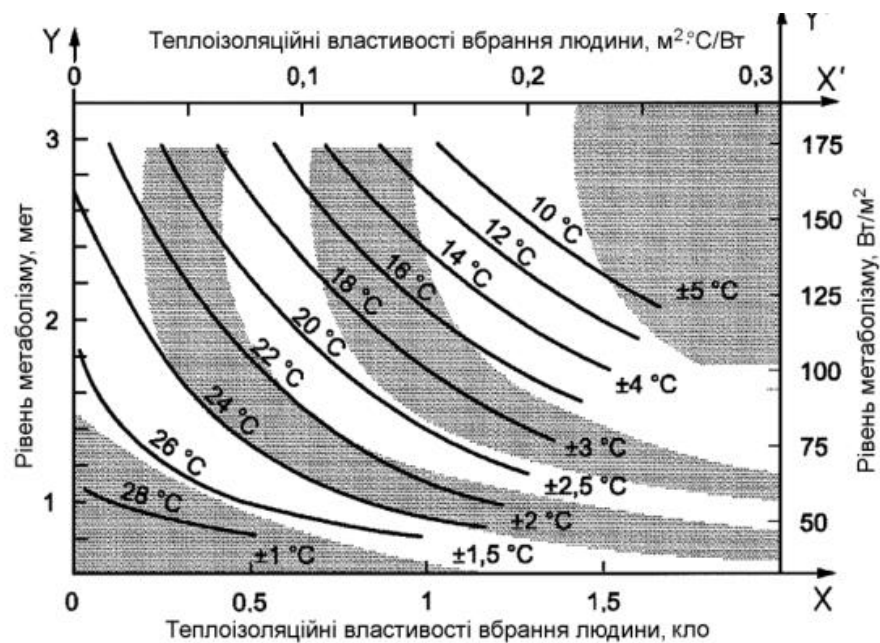


Рисунок 2.5 – Результуюча температура та її допустимий діапазон оптимальних умов мікроклімату приміщення [22]

Таблиця 2.4 – Відносна вологість повітря [22]

Умови мікроклімату	Відносна вологість повітря, %
Підвищені оптимальні	30-50
Оптимальні умови	25-60
Допустимі	25-70
Обмежено допустимі	Менше 20 та більше 70

Максимальна допустима швидкість повітря залежить від його температури в приміщенні та турбулентності потоку. Графік залежності для різних умов мікроклімату представлений на рис. 2.6.

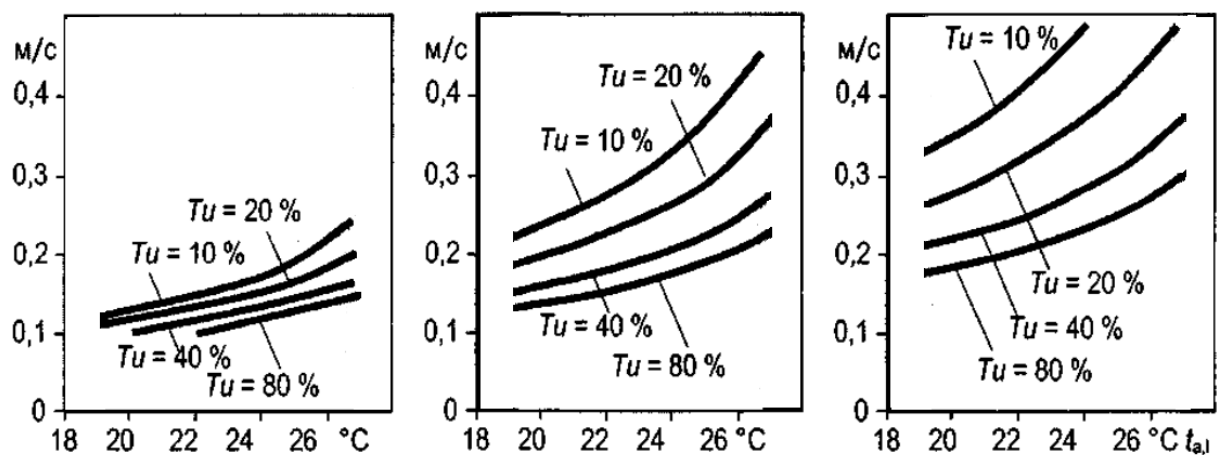


Рисунок 2.6. – Максимальна допустима середня швидкість повітря в залежності від температури в приміщенні та інтенсивності турбулентності  $T_u$  [36]

При визначенні мінімальної витрати повітря потрібно врахувати забруднюючі речовини, що надходять від огорожувальних конструкцій та внутрішнього оздоблення, а також надходження від людей. Тому мінімальна витрата припливного повітря обчислюється за формулою (2.1):

$$L_{tot} = n \cdot l_p + S \cdot l_e, \quad (2.1)$$

де  $L_{tot}$  – загальна мінімальна витрата зовнішнього повітря,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ;

$n$  – максимальна можлива кількість людей у приміщенні, люд.;

$l_p$  – питома витрата зовнішнього повітря на людину,  $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{люд.})$ ;

$S$  – загальна площа приміщення;

$l_g$  – питома витрата зовнішнього повітря на зменшення концентрації забруднень від будівельних конструкцій,  $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ .

Рівень забруднення повітря залежить від використаних при будівництві матеріалів, методика його визначення наведена у ДСТУ Б EN 15251. Мінімальні витрати зовнішнього повітря при різних умовах мікроклімату для нежитлових та виробничих приміщень наведені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Мінімальні витрати зовнішнього повітря для нежитлових приміщень [22]

Умови мікроклімату	Мінімальна витрата зовнішнього повітря на одну людину $l_p$ , $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{люд.})$	Мінімальна витрата зовнішнього повітря на розбавлення будівельних забруднень $l_v$ , $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$		
		при дуже низькому рівні забруднення повітря будівлі	при низькому рівні забруднення повітря будівлі	при високому рівні забруднення повітря будівлі
Підвищені оптимальні	10	0,5	1,0	2,0
Оптимальні	7	0,35	0,7	1,4
Допустимі	4	0,2	0,4	0,8
Обмежено допустимі	Менше 4	–	–	–

В залежності від вхідних умов на проектування можна використовувати різні способи для визначення  $Q_{tot}$ , такі як:

- підсумовування витрат повітря, приведених до загальної площі приміщення та до максимальної проектної кількості людей за допомогою мінімальних витрат зовнішнього повітря;
- визначення загальної питомої витрати повітря на м<sup>2</sup> приміщення за формулою (2.2):

$$l_{tot,s} = \frac{l_p}{s_n} + l_e, \quad (2.2)$$

де  $l_{tot, s}$  – загальна питома витрата зовнішнього повітря на одиницю площі приміщення, дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>);

$s_n$  – розрахункова (проектна) площа приміщення на людину, м<sup>2</sup>/люд.;

- визначення загальної питомої витрати повітря на одну людину за формулою (2.3):

$$l_{tot,n} = l_p + l_e \cdot s_n, \quad (2.3)$$

де  $l_{tot, n}$  – загальна питома витрата зовнішнього повітря на людину, дм<sup>3</sup>/(с·люд.).

Використовуючи формулу (2.2), визначення мінімальної загальної витрати набуває наступний вигляд:

$$L_{tot} = S \cdot l_{tot,s}, \quad (2.4)$$

а за формулою (2.3) –

$$L_{tot} = n \cdot l_{tot,n}. \quad (2.5)$$

При проектуванні системи вентиляції потрібно дотримуватися вимог ДБН В.2.5-67:2013 щодо розміщення точок забору припливного повітря та викиду відпрацьованого повітря. Найкращим варіантом для розміщення повітропроводу викидного повітря є покрівля будівлі, при цьому

вентиляційна труба має виступати щонайменше на 0,5 м від самої покрівлі або від гребеня чи парапету, якщо відстань до них менше 1,5 м.

Якщо викид відпрацьованого повітря на покрівлю зробити неможливо, то можна організувати викид через решітку, що розташована у стіні приміщення. Даний варіант допускається для приміщень, де основними забруднювачами повітря виступають люди, огорожувальні конструкції та внутрішнє оздоблення (винятком є курильня, санітарний вузол тощо). При організації викиду із сторони стіни необхідно виконати наступні умови:

- відстань від повітропроводу відпрацьованого повітря до найближчої будівлі становить щонайменше 8 м;
- відстань між точками забору та викиду повітря повинна бути більше 2 м, за можливості зробити так, щоб повітрозабірник розташовувався нижче від решітки викиду;
- витрата відпрацьованого повітря не повинна перевищувати  $0,5\text{ м}^3/\text{с}$ ;
- швидкість на вентиляційній решітці відпрацьованого повітря перевищує  $5\text{ м/с}$ ;
- нижня відмітка викидного пристрою знаходиться на висоті, що перевищує максимальну висоту снігового покриву більше, ніж 1,5 рази.

При невиконанні хоч одної умови викид повітря організовується лише з покрівлі.

Тепло-, волого- і газовиділення, що називаються навантаженням на систему кондиціонування повітря, визначаються залежно від кількості людей, орієнтації і виду огорожень, технології процесу, що відбувається в зоні, потужності освітлення робочих місць, режиму роботи. Зміни навантаження на систему кондиціонування повітря в окремих приміщеннях можуть не збігатися ні за часом, ні за абсолютною величиною.

Розрахунок надходжень теплоти і вологи в приміщення при проектуванні системи кондиціонування повинен бути виконаний на основі точних інженерних методик, а не за укрупненими показниками. При

розрахунку навантаження на охолодження повітря необхідно враховувати наступні теплонадходження [37]:

1) теплонадходження або тепловтрати в результаті різниці температур ззовні і всередині будівлі через стіни, стелю, підлогу, вікна та двері. Ця різниця температур влітку є позитивною, в результаті чого має місце приплив тепла в середину приміщення; і навпаки - взимку ця різниця є від'ємною і напрямок потоку тепла змінюється;

2) теплонадходження від сонячного випромінювання через світлопрозорі огорожувальні конструкції. Сонячне випромінювання завжди створює позитивне навантаження як влітку, так і взимку. Влітку це навантаження повинно бути компенсовано, а взимку воно незначне і поєднується з теплом, що виробляється установкою штучного клімату. Надходження теплоти від сонячної радіації  $Q_{c.p.}$  обчислюється за формулою (2.6):

$$Q_{c.p.} = (q' \cdot F'_o + q'' \cdot F''_o) \cdot \beta_{c.z.} \cdot K_z \cdot K_a + \frac{t_z - t_e}{R_o} \cdot F'_o, \quad (2.6)$$

де  $q'$  – густина теплового потоку, який надходить через одинарне застелення світлових отворів в липні через освітлені ділянки, Вт/м<sup>2</sup>;

$q''$  – густина теплового потоку, який надходить через одинарне застелення світлових отворів в липні через неосвітлені ділянки, Вт/м<sup>2</sup>;

$F'_o$  – площа світлових отворів, що опромінюється сонячною радіацією, м<sup>2</sup>;

$F''_o$  – площа світлових отворів, що не опромінюється сонячною радіацією, м<sup>2</sup>;

$\beta_{c.z.}$  – коефіцієнт теплопропускання сонячнозахисних пристроїв;

$K_z$  – коефіцієнт, який залежить від типу застелення;

$K_a$  – коефіцієнт, яким враховують акумуляцію теплоти внутрішніми огорожувальними конструкціями приміщення;



$t_3$  – розрахункова температура зовнішнього повітря, °C;

$t_6$  – розрахункова температура внутрішнього повітря, °C;

$R_o$  – опір теплопередачі заповнень світлових отворів, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

3) тепло, що виділяється людьми  $Q_l$ :

$$Q_l = q \cdot n_{\text{ч}} + 0,85 \cdot q \cdot n_{\text{ж}} + 0,75 \cdot q \cdot n_{\text{д}}, \quad (2.7)$$

де  $q$  – надходження повної теплоти від одного дорослого чоловіка, Вт/люд. (залежить від результуючої температури та характеру виконуваної роботи);

$n_{\text{ч}}, n_{\text{ж}}, n_{\text{д}}$  – кількість чоловіків, жінок, дітей відповідно, люд.;

4) теплонадходження від ламп і освітлювальних приладів  $Q_{\text{осв}}$ :

$$Q_{\text{осв}} = \eta \cdot N_{\text{осв}} \quad (2.8)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову;

$N_{\text{осв}}$  – потужність ламп, Вт;

5) тепло, що виділяється працюючими приладами і обладнанням: комп'ютерами, друкуючими пристроями, копіювальними машинами тощо.

Для полегшення та пришвидшення процесу проектування систем енергозабезпечення існує величезна кількість систем автоматизованого проектування, які відрізняються між собою функціональністю, властивостями, вартістю.

Система автоматизованого проектування (САПР) - система, що реалізує інформаційну технологію виконання функцій проектування, являє собою організаційно-технічну систему, призначену для автоматизації процесу проектування, що складається з персоналу і комплексу технічних, програмних та інших засобів автоматизації його діяльності [38].

САПР прийнято розділяти на три основні типи [39]:

- системи автоматизованого креслення та проектування;
- системи автоматизованої побудови технологічних процесів;

- системи автоматизації інженерних розрахунків.

Для автоматизації розрахунків навантаження на систему опалення та вентиляції проектні організації використовують програмне забезпечення (ПЗ) *Audytor OZC* [40].

Основними можливостями *Audytor OZC* є :

- розрахунок коефіцієнтів термічного опору  $R$  світлопрозорих та непрозорих огорожувальних конструкцій, а також огорож з неоднорідною структурою;
- створення графіку парціального тиску водяної пари, а також діаграми розподілу температур в огорожувальних конструкціях;
- розрахунок проектного теплового навантаження для окремо взятих елементів (зон, приміщень тощо) , а також для всієї будівлі в цілому відповідно до чинних норм українського законодавства;
- автоматичний перерахунок тепловтрат приміщень і всієї будівлі в разі зміни термічного опору окремих елементів будівельних конструкцій;
- розрахунок проектного навантаження приміщень, обладнаних різними типами вентиляційних системам (в тому числі системами з використанням рекуператорів та з рециркуляцією повітря);
- попередній розрахунок можливого опалювального обладнання по приміщеннях.

Для розрахунку навантаження на систему кондиціонування використовують програмне забезпечення "Северный ветер", що здатна враховувати теплонадходження в тепловому балансі приміщення.

В якості системи автоматизованого креслення та проектування передовою програмою є *Autodesk Revit* [41]. *Autodesk Revit* - це повнофункціональна САПР, що надає можливості архітектурного проектування, проектування інженерних систем і будівельних конструкцій, а також моделювання процесу будівництва. Дана програма забезпечує високу точність виконуваних проектів, оскільки заснована на технології

інформаційного моделювання будівель. Представлена система забезпечує високий рівень спільної роботи фахівців різних дисциплін і значно скорочує кількість помилок, дозволяє створювати будівельні конструкції і інженерні системи будь-якої складності. А на основі проєктованих моделей фахівці мають можливість виробити ефективну технологію будівництва та точно визначити необхідну кількість матеріалів.

### **2.3 Моделювання роботи сонячних електростанцій: огляд програмного забезпечення**

Для розрахунку продуктивності сонячної електростанції та оцінювання ефективності її роботи використовують програмне забезпечення, що дозволяє точно спрогнозувати вироблення електричної енергії фотоелектричними модулями для реального географічного розташування та відповідної інсоляції сонячної енергії, за умови правильності підключення компонентів системи.

Для проведення зазначених робіт розробники систем і проєктів, інженери і студенти, в залежності від потреб і вирішуваних завдань, користуються як відкритими (безкоштовними), так і платними інструментами моделювання сонячних електростанцій [42].

Такі програми є комплексом математичних рівнянь, що дозволяють розрахувати вхідну і вихідну потужність на встановлених фотоелектричних панелях та на інших елементах системи, щоб на основі отриманих даних скласти погодинний, щоденний, помісячний та річний графік вироблення електроенергії СЕС. Одним із прикладів такого програмного забезпечення, що використовується проєктувальниками та розробниками проєктів станцій, є *System Advisor Model (SAM)* [43].

Програма обчислює електричну потужність фотоелектричної системи, використовуючи окремі модульні та інверторні моделі. Для цього можна задати свої власні специфікації модуля (див. рис. 2.7) та інвертора з інформаційного аркуша виробника, або вибрати їх з бібліотеки даних. Також фотоелектрична модель оцінює втрати внаслідок впливу температури на

працездатність модуля і має варіанти розрахунку втрат у системі, тобто є можливість отримати вартість вироблюваної електроенергії з урахуванням проектних і експлуатаційних затрат.

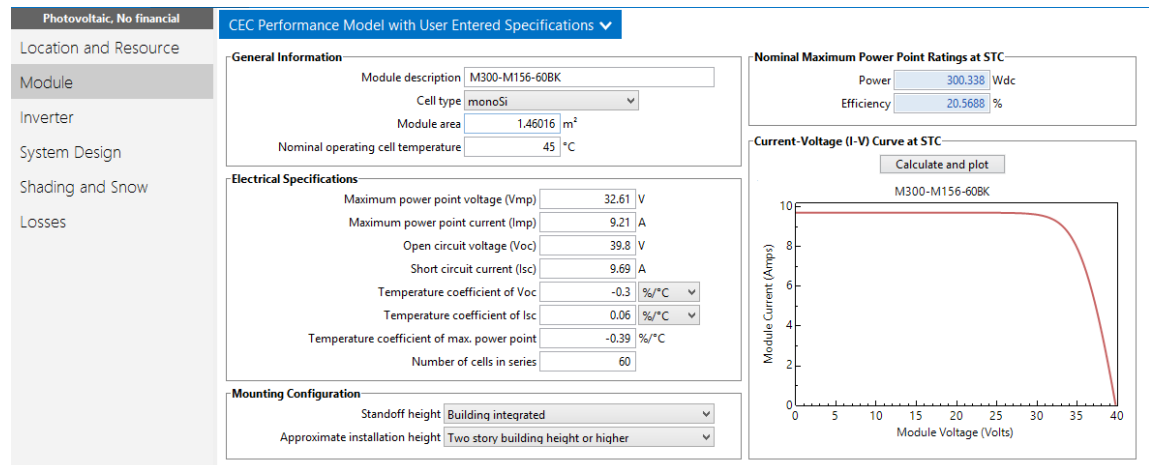


Рисунок 2.7 – Вікно програми *System Advisor Model*

До інших переваг також відносять можливість завантажити метеорологічну базу даних у форматах «csv» та «epw» з Інтернету, або вибрати з наявних бібліотек даних. Для оцінювання терміну окупності СЕС в програмі передбачені фінансові показники, такі як ставки кредитування, рівень інфляції, ставки для комерційних чи житлових будинків, витрати на обладнання та амортизаційні нарахування на обслуговування станції.

Для комерційної привабливості *SAM* дозволяє переглядати результати як в графіках, так і в таблицях, показуючи різні індикатори, що представляють інтерес для користувача, такі як щоденний погодинний графік виробництва електроенергії, річне виробництво електроенергії або деталі річного прибутку від продажів виробленої енергії. Отримані звіти можна імпортувати і розміщувати в презентаціях, звітах або комерційних пропозиціях.

Єдиним недоліком даного продукту є обмеженість щодо компонування фотоелектричних панелей різних марок та у виборі з'єднання цих панелей між собою.

## Висновки до розділу 2

В даному розділі розглянуто технологічні і технічні рішення по організації та конструктивним виконанням систем забезпечення мікроклімату приміщень житлових і громадських будівель, спрямованих на скорочення споживання енергії, проведено порівняльний аналіз різних конструкцій теплообмінників.

Також проведено аналіз методики розрахунку систем вентиляції та кондиціонування, здійснено огляд програмного забезпечення для моделювання цих систем, а також для роботи сонячних електростанцій.

В результаті проведеного аналізу слід зазначити, що для автоматизації розрахунків навантаження на систему опалення та вентиляції проектні організації використовують програмне забезпечення *Audytor OZC*, а для моделювання роботи CEC - *System Advisor Model*.

### 3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ З ВРАХУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОКАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА

#### 3.1 Проектування системи вентиляції та кондиціонування

Разом з нормами ДБН В.2.5-67:2013 слід також керуватися положеннями ДБН В.2.2-3:2018 "Заклади освіти", але за умови, якщо вони доповнюють або уточнюють ДБН В.2.5-67:2013, та не погіршують їх вимоги.

Розрахункові параметри зовнішнього повітря наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Географічне розташування, широта	м. Київ	51° п.ш.
Розрахункові параметри зовнішнього повітря в холодний період року для розрахунку систем опалення та вентиляції	t, °C / φ, % I, кДж/кг	-22,0 / 98 -20,9
Розрахункові параметри зовнішнього повітря в теплий період року для розрахунку систем вентиляції та кондиціонування	t, °C / φ, % I, кДж/кг	+35,0 / 60 91,4
Тривалість опалювального періоду, кількість градусо-днів	176 днів	3538 градусо-днів
Барометричний тиск, зона вологості	990 ГПа	нормальна
Розрахункова середня швидкість вітру у періоди року: холодний, теплий	4,2 м/с	1,0 м/с

Розрахунок і проектування системи вентиляції та кондиціонування здійснювався для приміщень №401, №402 та №418 навчального корпусу №22 НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського". Всі три приміщення розміром 6х12м (рис.3.1), висотою 3м, 10 світлопрозорих конструкцій розміром 1х2,2м в кожній аудиторії. В нашому випадку потрібно було виконати оптимальні



З рис. 3.2, результуючою температурою для приміщення є 22°C, допустимий діапазон відхилень при цьому становить  $\pm 2$  °C. Згідно ДБН В.2.2-3:2018 розрахункова температура повітря для аудиторій та навчальних кабінетів вищих навчальних закладів дорівнює 18°C, а вимоги до обсягу повітрообміну слід приймати з розрахунком щонайменше 20 м<sup>3</sup>/год на одну людину. Але у випадку, якщо приміщення має 2 зовнішні стіни, то розрахункову температуру слід збільшувати на 2 °C. Для зручності розрахунку приймемо в усіх приміщеннях результуючу температуру на рівні 20°C.

Максимально можлива кількість людей у приміщеннях закладів освіти залежить від площі приміщення, його призначення та визначається за формулою 3.1. :

$$N_{cm} = \frac{S_{prim}}{s_n}, \quad (3.1)$$

де  $N_{cm}$  – максимально можлива кількість студентів, учнів, слухачів, люд.;

$S_{prim}$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$s_n$  – питомий показник площі приміщення на людину, м<sup>2</sup>/люд.

У табл. 3.2 наведено питомі показники розрахункової площі на одного студента, учня чи слухача.

За формулою (3.1) було знайдено проектну кількість студентів для кожного досліджуваного приміщення:

$$N_{cm.418} = \frac{6 \cdot 12}{4} = 18 \text{ люд.}$$

$$N_{cm.401} = \frac{6 \cdot 12}{4} = 18 \text{ люд.}$$

$$N_{cm.402} = \frac{6 \cdot 12}{2,4} = 30 \text{ люд.}$$



Таблиця 3.2 – Питомі показники площ основних приміщень  $s_n$ 

Приміщення	Площа на одного студента чи слухача (не менше ніж), $m^2$
1. Навчальні кабінети загальнотеоретичного профілю у вищих навчальних закладах та інститутах післядипломної освіти:	
– при фронтальних формах занять	2,4
– при групових та індивідуальних формах занять	3,5
2. Лабораторії загальнотеоретичного профілю у вищих навчальних закладах та інститутах післядипломної освіти	4
3. Лабораторії професійно-технічного і спеціального профілю:	
– в профучилищах;	5
– у вищих навчальних закладах та інститутах післядипломної освіти	6

За формулою (2.1) обчислено мінімальну витрату повітря, що враховує надходження від людей і від огорожувальних конструкцій при низькому рівні забруднення повітря будівлі ( $l_e = 0,7 \text{ дм}^3 / (\text{с} \cdot \text{м}^2)$ ), та забезпечує оптимальні умови мікроклімату:

$$L_{tot.418} = 18 \cdot 7 + 72 \cdot 0,7 = 176,4 \quad \frac{\partial m^3}{c} = 635 \quad \frac{m^3}{год}.$$

$$L_{tot.401} = 18 \cdot 7 + 72 \cdot 0,7 = 176,4 \quad \frac{\partial m^3}{c} = 635 \quad \frac{m^3}{год}.$$

$$L_{tot.402} = 30 \cdot 7 + 72 \cdot 0,7 = 260,4 \quad \frac{\partial m^3}{c} = 940 \quad \frac{m^3}{год}.$$

Навантаження, що потрібне на нагрів повітря, було розраховано за допомогою програми *Audytor OZC 7.0 Basic Trial*. Програма автоматично враховує надходження зовнішнього повітря через нещільності в результаті дії гравітаційного тиску та впливу вітру. Для цього необхідно вказувати огорожувальні конструкції будівлі.

На рис. 3.3 показано зображення інтерфейсу програми із заповненими даними для непрозорої конструкції приміщень. Термічний опір світлопрозорих елементів було прийнято згідно табл. 3.3.

Символ: СТЕНА. Описание: Стена наружная. Вид: Неоднородная конструкция. Влажностный режим: Нормальный. Каталожный номер:

Символ	d, м	Этап	Описание материала	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\rho$ , кг/м³
Р-ЦЕМПЩ	0,0130	С	Розчин цементно-піщаний. Густина 1800 кг	0,760	1800
ГИПСОБЕТ12	0,0370	С	Гипсобетон песочный	0,450	1200
КЦКЩ-ЦП16	0,2500	С	Цегляна кладка з керамічної порожнистої	0,580	1600
Р-ЦЕМПЩ	0,0160	С	Розчин цементно-піщаний. Густина 1800 кг	0,760	1800

Сопrotивление теплопередаче внутри  $R_i$ : 0,130 м²·К/Вт. Толщина G: 0,316 м. Ограждение с указанными размерами: ☐. Сопrotивление теплопередаче снаружи  $R_e$ : 0,040 м²·К/Вт. Сопrotивление слоя: 0,721 м²·К/Вт.

Стандартные тепловые мосты:

Тип	Символ	$\Psi_1$
Г	C1	-0,05
Г	CC1	0,05
Г	IW1	0,00

U<sub>0</sub>: 1,386 Вт/м²·К. Коэффициент теплопер. U: 1,386 Вт/м²·К.

ИВ (Наружная стена / Внутренняя стена)

Рисунок 3.3 – Вікно програми *Audytor OZC* для створення багатошарових огорожень

Результати розрахунків для приміщення № 418 показано на рис. 3.4. Для зручності отримані навантаження для системи вентиляції без рекуперації та для системи опалення при існуючих огорожувальних конструкціях для всіх приміщень записано у табл. 3.4.

Таблиця 3.3 – Опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій

Заповнення світлових отворів	Опір теплопередачі $R_o, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Одинарне застелення у дерев'яних переплєтах	0,17
Одинарне застелення у металевих переплєтах	0,15
Подвійне застелення у дерев'яних сполучених переплєтах	0,34
Подвійне застелення у металевих сполучених переплєтах	0,31
Подвійне застелення у дерев'яних розділених переплєтах	0,38
Подвійне застелення у металевих розділених переплєтах	0,34

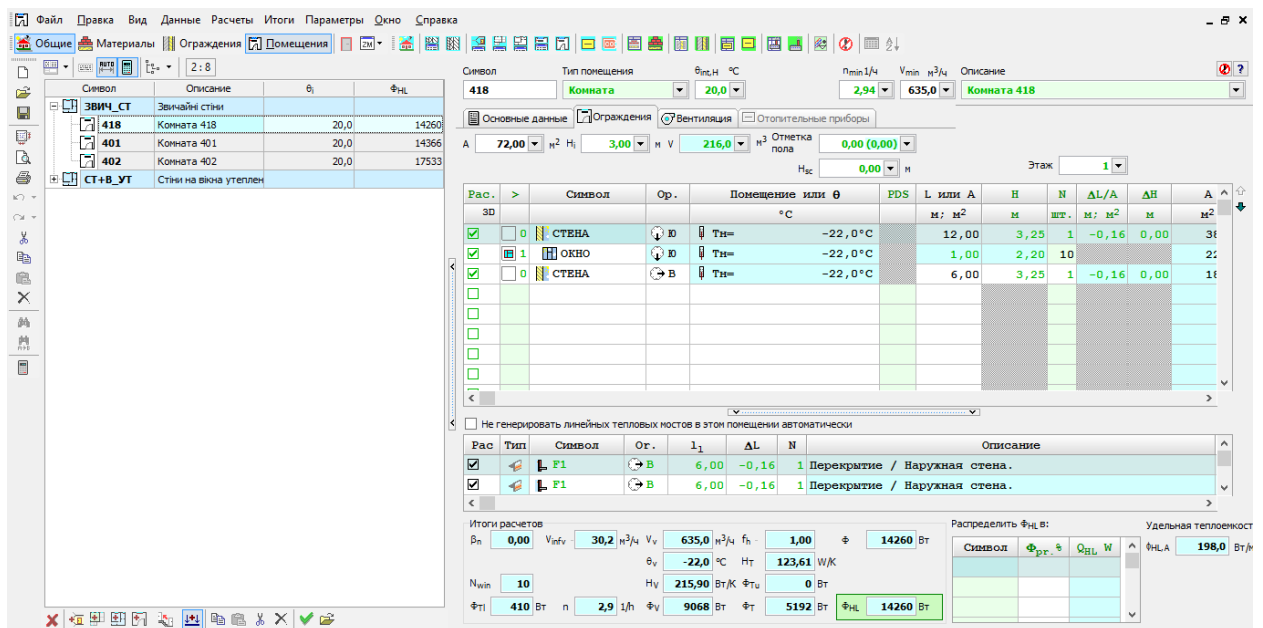
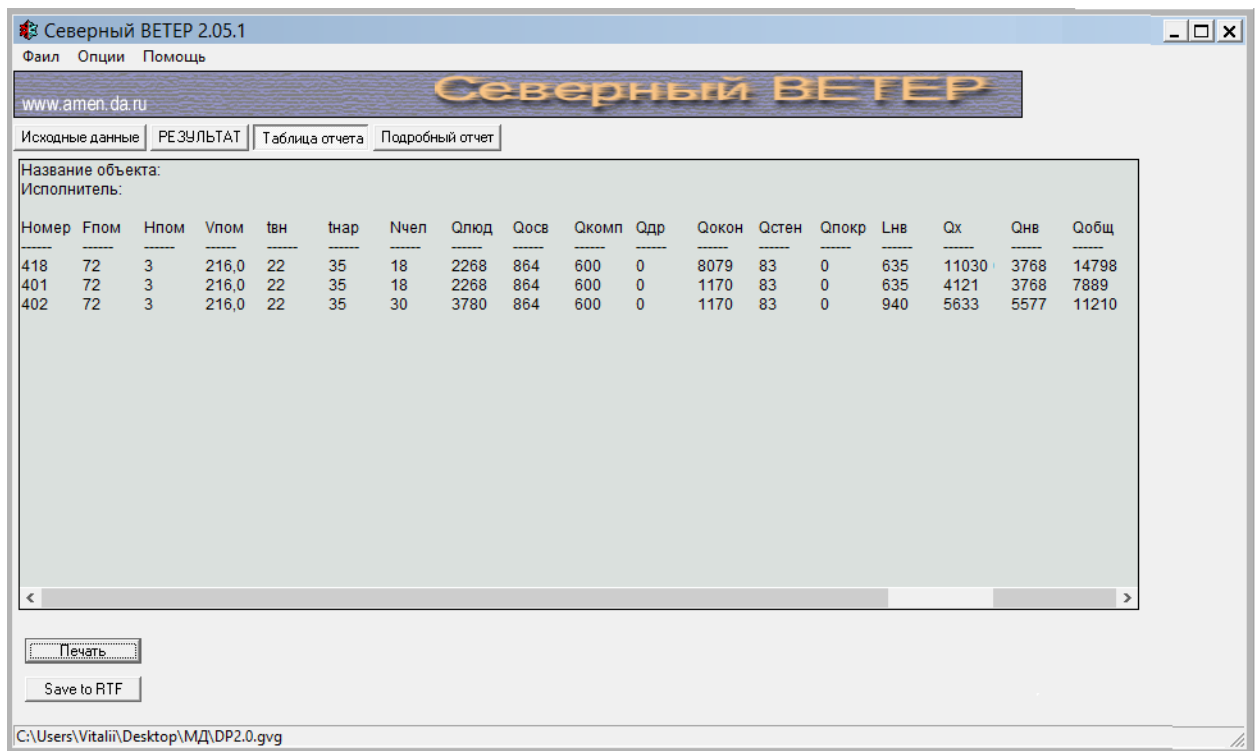


Рисунок 3.4 – Результати розрахунку для приміщення № 418 в програмі Audytor OZC

Для розрахунку навантаження на систему кондиціонування скористалися програмою автоматизації інженерних розрахунків "Северный ветер". Результати представлені на рис. 3.5.

Таблиця 3.4 – Втрати тепла без рекуперації енергії

№ приміщення	Витрати тепла на вентиляцію, Вт	Витрати тепла на опалення, Вт	Сумарні витрати тепла, Вт
418	9068	5192	14260
401	9068	5298	14366
402	13423	4109	17532
$\Sigma$ (401+402+418)	31559	14599	46158

Рисунок 3.5 – Вікно програми "Северный ветер"  
з результатами розрахунків

В програмі присутні 2 варіанти розрахунку: денна та нічна схеми. В першій враховуються теплонадходження від сонячної інсоляції, огорожувальних конструкцій, людей, обладнання, інших джерел теплоти та навантаження на охолодження припливного повітря, а в другій - сонячна інсоляція та огорожувальні конструкції замінені теплонадходженнями від

освітлення. Користувачу лише потрібно вибрати режим з більшим навантаженням, в нашому випадку в усіх приміщеннях було прийнято денну схему.

Для аналізу отриманих даних було записано теплонадходження у кількісному та відсотковому значенні, див табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Навантаження на систему кондиціонування

№	Q <sub>люд</sub> Вт/ %	Q <sub>комп</sub> Вт/ %	Q <sub>вік.</sub> Вт/ %	Q <sub>стін</sub> Вт/ %	Q <sub>нв</sub> Вт/ %	Q <sub>заг</sub> Вт/ %
№418	2268/ 15,3	600/ 4,1	8079/ 54,6	83/ 0,6	3768/ 25,5	14798/ 100
№401	2268/ 28,7	600/ 7,6	1170/ 14,8	83/ 1,1	3768/ 47,8	7889/ 100
№402	3780/ 33,7	600/ 5,4	1170/ 10,4	83/ 0,7	5577/ 49,8	11210/ 100

Проаналізувавши отримані дані, було виявлено, що найбільше навантаження припадає на теплонадходження від людей (15-35%), на нагрів повітря (25-50%) та на сонячну радіацію ( при орієнтації стін на південь частка становить майже 55%).

З метою забезпечення нормованих параметрів мікроклімату проектування систем ОВіК проводиться для температури зовнішнього повітря для найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0,92 та для найжаркішої доби забезпеченістю 0,95 (для м. Києва -22 °С і +35 °С відповідно). Тому для визначення питомої річної енерговитрати цими системами потрібно було зробити перерахунок для середніх температур за наступною формулою:

$$Q_{ОВіК}^{cp} = Q_{ОВіК}^p \frac{t_g - t_{cp.ОВіК}}{t_g - t_{p.ОВіК}}, \quad (3.2)$$

де  $Q^{p}_{OBiK}$  – розрахункова витрата теплоти на вентиляцію, опалення чи кондиціонування будівель і споруд, що визначаються за  $t_{p.OBiK}$ , Вт;

$t_{cp.OBiK}$  – середня температура зовнішнього повітря за період, °С.

Погодинна температура зовнішнього повітря репрезентативного дня місяця для м. Києва наведена у додатку А (Табл. А1).

Визначення годин опалювального періоду здійснювався з урахуванням наступних умовностей: з листопада по березень опалення постійне, а в жовтні та квітні тривалість годин опалювального періоду становить половину тривалості цих місяців. В цей проміжок системи вентиляції та опалення працюють на обігрів, а в іншій решті року системи вентиляції та кондиціонування - на охолодження.

Також було прийнято до уваги графік використання приміщень, за якого навчальний та робочий процес триває з 8:00 до 18:00 (50 годин на тиждень згідно таблиці А2 додатку А).

В цей період дня в аудиторіях підтримується результуюча температура на рівні 20°C, а в нічний час та у вихідні дні температура чергового режиму опалення знижується до 16 °С.

Згідно [22], для чергового режиму роботи системи вентиляції нежитлових приміщень рекомендується обирати мінімальне значення витрати зовнішнього повітря від 0,1  $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  до 0,2  $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ , тому витрата припливного повітря для кожного приміщення становить:

$$L_{tot.418} = L_{tot.401} = L_{tot.402} = 72 \cdot 0,2 = 14,4 \frac{\text{дм}^3}{\text{с}} = 51,9 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Враховуючи всі наші умови, було пораховано енерговитрати для всіх трьох приміщень сумарно за формулою (3.2):

- для січня місяця з 14:00 по 15:00 робочого дня:

$$Q_O^{14(p)} = 14,6 \cdot \frac{20 - (-2,2)}{20 - (-22)} = 7,72 \text{ кВт};$$

$$Q_B^{14(p)} = 31,6 \cdot \frac{20 - (-2,2)}{20 - (-22)} = 16,68 \text{ кВт};$$

- для січня місяця з 14:00 по 15:00 вихідного дня:

$$Q_O^{14(e)} = 14,6 \cdot \frac{16 - (-2,2)}{20 - (-22)} = 6,33 \text{ кВт};$$

$$Q_B^{14(e)} = 31,6 \cdot \frac{51,9 \cdot 3}{635 + 635 + 940} \cdot \frac{16 - (-2,2)}{20 - (-22)} = 0,96 \text{ кВт}.$$

Було проведемо аналогічний розрахунок для інших годин та місяців опалювального періоду, результати наведено у таблицях Б.1, Б.2 додатку Б.

Аналогічні розрахунки проведено для системи вентиляції в неопалювальний період, враховуючи, що на охолодження повітря з +35°C до +22°C потрібно 13,1 кВт. Тоді за формулою 3.2 для періоду 14:00-15:00 липня місяця робочого дня:

$$Q_{B..л}^{14(p)} = 13,1 \cdot \frac{22 - 24,2}{22 - 35} = 2,22 \text{ кВт}.$$

Результати наведено у таблиці 3.6.

У вихідні та неробочі години в приміщенні підтримується температура на рівні +28°C, тому згідно табл. А1 додатку А можна не враховувати навантаження на охолодження зовнішнього повітря.

Представимо отримані результати для системи опалення та вентиляції на рис. 3.6 та рис. 3.7 відповідно.

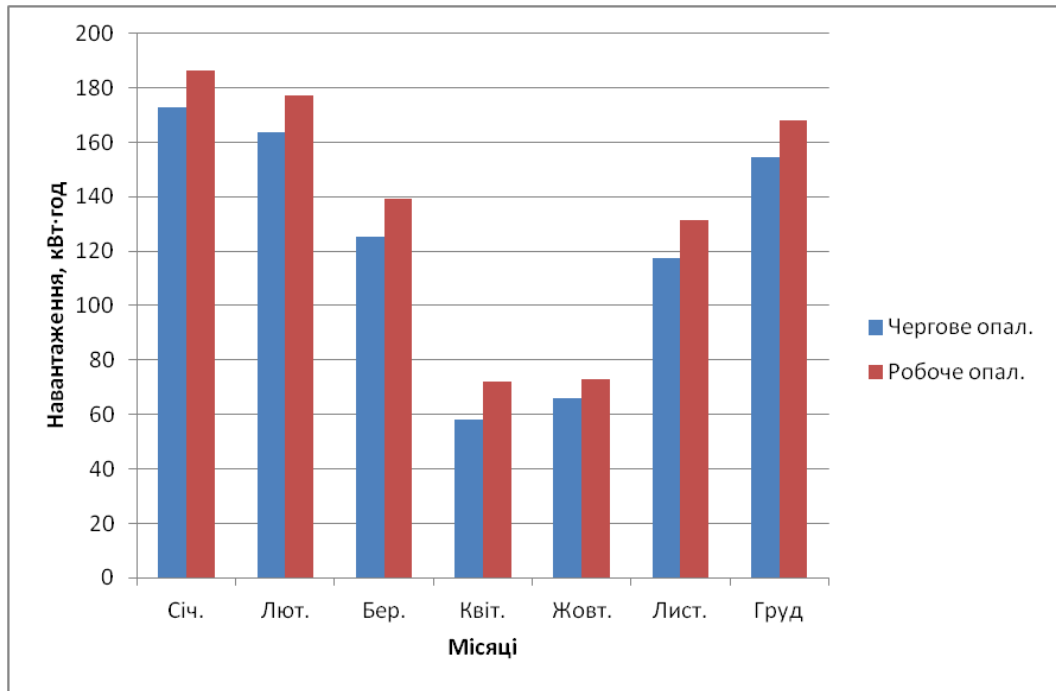


Рисунок 3.6 – Енергопотреба системи опалення протягом типового робочого та вихідного дня кожного опалювального місяця

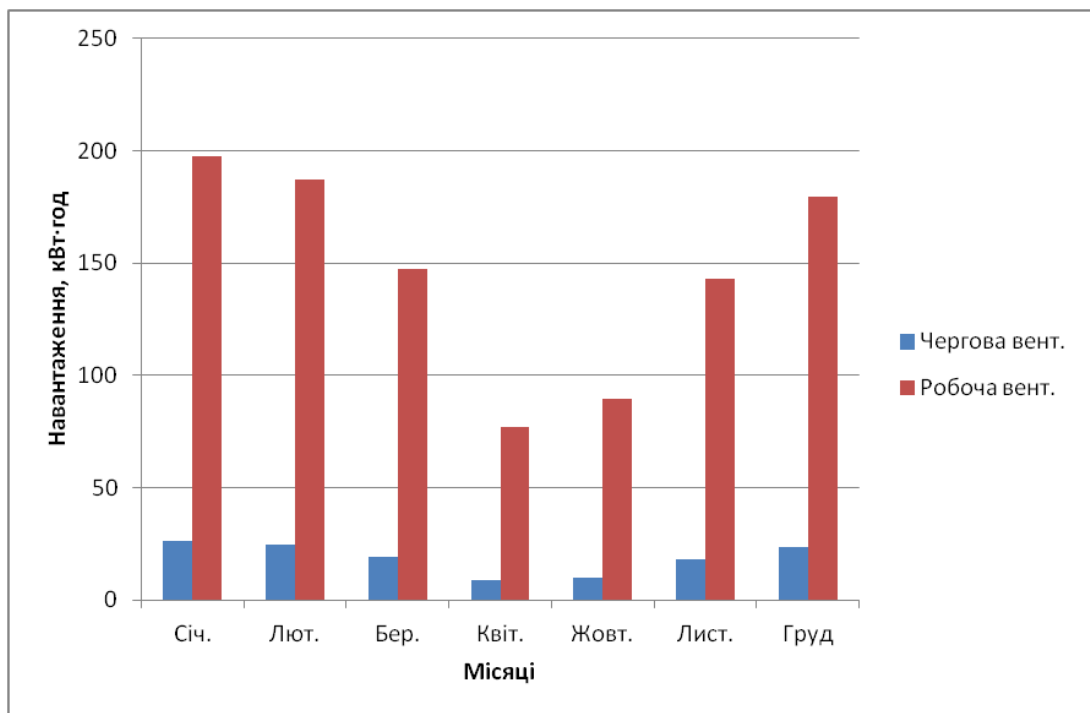


Рисунок 3.7 – Енергопотреба системи вентиляції протягом типового робочого та вихідного дня кожного опалювального місяця



Таблиця 3.6 – Розрахунок енергопотребы системи вентиляції в неопалювальний період

Година	Черв. кВт	Лип. кВт	Серп. кВт
8	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,40	0,00
13	0,20	1,51	0,71
14	0,91	2,22	1,51
15	1,11	2,52	1,82
16	1,01	2,42	1,71
17	0,61	2,12	1,41

Як в опалювальний, так і в неопалювальний період потрібно враховувати теплонадходження від сонячної інсоляції. Взимку це дозволить зменшити витрати на нагрів повітря, а влітку створить основне навантаження на систему кондиціонування.

Для визначення погодинного рівня інсоляції скористалися електронним ресурсом *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*[44]. *PVGIS* забезпечує безкоштовний та відкритий доступ до:

- PV-потенціалу для різних технологій та конфігурацій мережевих та автономних систем;
- сонячного випромінювання та температури, як середньомісячні або щоденні значення, повного часового ряду годинних значень як сонячного випромінювання, так і фотоелектричних показників;
- типові метеорологічних даних року для дев'яти кліматичних змінних;
- готових до друку карт сонячних ресурсів та фотоелектричного потенціалу за країнами чи регіонами;
- програмного забезпечення *PVMAPS*, яке включає всі моделі оцінки, що використовуються у *PVGIS*.

Вікно сайту з сонячним випромінюванням для липня місяця на вертикальну поверхню, що орієнтована на південь, і знаходиться в м. Києві показано на рис. 3.8.

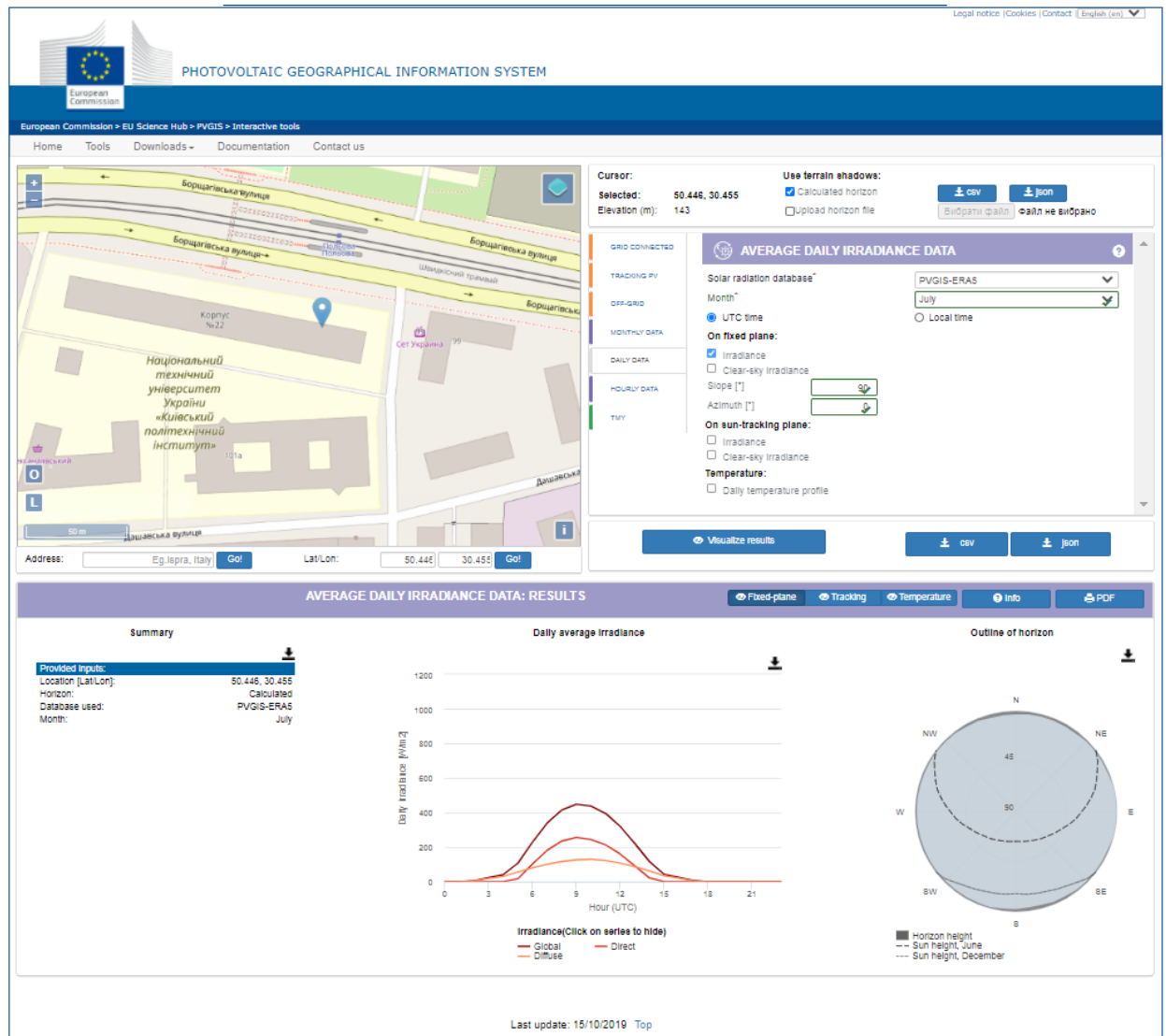


Рисунок 3.8 – Погодинна сонячна інсоляція для корпусу №22 на вертикальну поверхню в липні на ресурсі *PVGIS*

Погодинні значення сонячної інсоляції протягом року для вертикальної поверхні у м. Києві, що орієнтована на південь та північ наведено у таблицях А3 та А4 додатку А відповідно. Враховуючи площу вікон, їх орієнтацію, коефіцієнти остеклення та відбивання світла ( $K_1=0,8$  та  $K_2=0,75$ ), теплонадходження від сонця наведено у табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Погодинні характеристики сонячних теплонадходжень для типового дня місяця

Годинна	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0,01	0,35	0,67	0,45	0,08	0	0	0	0
5	0	0	0,00	0,29	0,83	1,44	1,23	0,61	0,11	0	0	0
6	0	0,00	0,13	0,43	0,85	1,53	1,45	0,67	0,28	0,11	0,00	0
7	0,01	0,12	0,34	0,86	1,14	1,35	1,36	1,10	0,89	0,41	0,11	0,01
8	0,15	0,51	0,75	2,09	2,20	2,28	2,36	2,49	2,15	1,53	0,49	0,14
9	0,77	1,01	1,82	3,46	3,58	3,87	4,04	4,14	3,46	2,63	1,30	0,65
10	1,46	1,76	2,82	4,65	4,76	5,29	5,61	5,70	4,69	3,65	2,04	1,21
11	2,09	2,46	3,64	5,44	5,47	6,16	6,71	6,67	5,53	4,32	2,51	1,65
12	2,44	2,86	4,09	5,68	5,72	6,45	7,03	7,04	5,77	4,43	2,62	1,89
13	2,47	2,85	4,02	5,44	5,48	6,19	6,79	6,74	5,49	4,08	2,53	1,82
14	2,13	2,50	3,56	4,71	4,78	5,49	6,10	5,99	4,80	3,43	2,02	1,45
15	1,47	1,77	2,77	3,74	3,80	4,35	4,91	4,86	3,72	2,48	1,32	0,89
16	0,75	0,83	1,69	2,56	3,00	3,75	4,00	3,45	2,51	1,41	0,61	0,29
17	0,01	0,01	0,65	1,54	2,00	2,80	2,91	2,42	1,18	0,42	0	0
18	0	0,00	0,00	0,32	0,69	1,70	1,45	0,42	0,22	0,00	0	0
19	0	0	0	0,06	0,20	0,33	0,31	0,15	0,01	0	0	0
20	0	0	0	0	0,03	0,11	0,09	0,01	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Передостанньою дією на цьому етапі було врахування всіх тепловтрат та теплонадходжень у тепловому балансі для робочого і вихідного типового дня кожного місяця. У вихідні дні система кондиціонування не працює, оскільки немає потреби в охолодженні приміщень. Також прийнято, що завантаженість аудиторій від максимального значення наступна: з 8:00 до 9:00 - 45%; з 9:00 до 16:00 - 70%; з 16:00 до 17:00 - 60%; з 17:00 до 18:00 - 45%. Результати розрахунку наведено у таблицях 3.8 та 3.9. Для зручності знак "-" вказує на навантаження, що припадає на охолодження повітря.

Таблиця 3.8 – Навантаження систем ОВіК типового робочого дня, кВт

Година	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
1	8,61	8,21	6,53	3,64	0	0	0	0	0	3,60	5,93	7,65
2	8,77	8,41	6,73	3,93	0	0	0	0	0	3,89	6,09	7,85
3	8,97	8,61	6,93	4,21	0	0	0	0	0	4,13	6,25	7,97
4	9,09	8,73	7,09	4,36	0	0	0	0	0	4,33	6,37	8,09
5	9,21	8,85	7,25	4,23	0	0	0	0	0	4,49	6,45	8,21
6	9,33	8,93	7,16	4,14	0	0	0	0	0	4,49	6,53	8,29
7	9,36	8,85	6,99	3,62	0	0	0	0	0	4,23	6,45	8,32
8	17,23	16,09	12,40	5,26	-6,29	-6,58	-7,15	-6,71	-6,24	6,61	11,40	15,21
9	18,01	16,57	11,50	2,54	-9,99	-11,32	-11,15	-11,48	-9,87	4,94	10,90	15,72
10	16,58	14,98	9,57	0,00	-11,17	-12,71	-13,88	-13,04	-11,10	1,52	9,51	14,61
11	14,94	13,27	7,55	0	-12,69	-14,74	-16,23	-15,26	-11,94	0,00	8,21	13,24
12	13,47	11,75	5,90	0	-12,83	-16,04	-17,63	-16,87	-12,64	-2	7,18	12,08
13	12,43	10,83	5,04	0	-13,52	-16,64	-18,25	-17,58	-12,06	-3	6,43	11,21
14	12,02	10,54	4,85	0	-13,37	-16,48	-18,11	-17,45	-12,06	0	6,39	11,04
15	12,49	11,09	5,36	0	-12,61	-15,49	-17,15	-16,55	-11,21	-1	6,90	11,41
16	13,22	12,09	6,87	0	-10,36	-13,23	-14,47	-13,43	-8,75	0,00	7,94	12,11
17	13,22	12,36	7,72	0	-7,61	-10,16	-11,15	-10,25	-5,91	2,08	8,37	11,82
18	7,37	6,89	4,92	1,04	0	0	0	0	0	1,88	4,85	6,61
19	7,49	7,01	5,09	1,54	0	0	0	0	0	2,08	4,97	6,73
20	7,61	7,17	5,29	1,88	0	0	0	0	0	2,28	5,09	6,85
21	7,81	7,37	5,49	2,20	0	0	0	0	0	2,52	5,25	6,97
22	7,97	7,57	5,77	2,56	0	0	0	0	0	2,76	5,41	7,17
23	8,17	7,81	6,01	2,92	0	0	0	0	0	3,04	5,57	7,33
24	8,37	8,01	6,25	3,28	0	0	0	0	0	3,32	5,77	7,49
Σ	261,8	242,0	164,2	51,4	110,4	133,4	145,2	138,6	101,8	68,7	164,2	234,0

Таблиця 3.9 – Навантаження систем ОВіК типового вихідного дня, кВт

Година	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
1	8,61	8,21	6,53	3,64	0	0	0	0	0	3,60	5,93	7,65
2	8,77	8,41	6,73	3,93	0	0	0	0	0	3,89	6,09	7,85
3	8,97	8,61	6,93	4,21	0	0	0	0	0	4,13	6,25	7,97
4	9,09	8,73	7,09	4,36	0	0	0	0	0	4,33	6,37	8,09
5	9,21	8,85	7,25	4,23	0	0	0	0	0	4,49	6,45	8,21
6	9,33	8,93	7,16	4,14	0	0	0	0	0	4,49	6,53	8,29
7	9,36	8,85	6,99	3,62	0	0	0	0	0	4,23	6,45	8,32
8	9,22	8,46	6,46	2,15	0	0	0	0	0	3,12	6,08	8,19
9	8,52	7,76	5,11	0	0	0	0	0	0	1,81	5,15	7,60
10	7,51	6,65	3,71	0	0	0	0	0	0	0	4,12	6,80
11	6,45	5,51	2,37	0	0	0	0	0	0	0	3,29	5,96
12	5,61	4,63	1	0	0	0	0	0	0	0	2,79	5,32
13	5,14	4,24	1	0	0	0	0	0	0	0	2,52	4,98
14	5,16	4,31	1	0	0	0	0	0	0	0	2,78	5,12
15	5,74	4,96	1,92	0	0	0	0	0	0	0	3,40	5,59
16	6,46	5,89	3,04	0	0	0	0	0	0	0	4,11	6,20
17	7,24	6,80	4,11	0	0	0	0	0	0	1,34	4,77	6,53
18	7,37	6,89	4,92	1	0	0	0	0	0	1,88	4,85	6,61
19	7,49	7,01	5,09	1,54	0	0	0	0	0	2,08	4,97	6,73
20	7,61	7,17	5,29	1,88	0	0	0	0	0	2,28	5,09	6,85
21	7,81	7,37	5,49	2,20	0	0	0	0	0	2,52	5,25	6,97
22	7,97	7,57	5,77	2,56	0	0	0	0	0	2,76	5,41	7,17
23	8,17	7,81	6,01	2,92	0	0	0	0	0	3,04	5,57	7,33
24	8,37	8,01	6,25	3,28	0	0	0	0	0	3,32	5,77	7,49
Σ	185,2	171,6	117,9	45,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,3	120,0	167,8

Потім було пораховано місячну та річну енергопотребу, приймаючи до уваги кількість вихідних, святкових та робочих днів (таблиця А5 додатку А). Результати зведені у таблицю 3.10.

Таблиця 3.10 – Навантаження систем ОВіК протягом року, кВт

Дні	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
Роб.	5496,8	4839,9	3448,7	1078,8	2098,3	2667,9	3338,7	3049,4	2239,3	1443,1	3448,2	5147,5
Свят.	1852,0	1544,8	1179,1	411,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	533,3	1079,7	1510,6
$\Sigma$	7348,7	6384,8	4627,8	1490,3	2098,3	2667,9	3338,7	3049,4	2239,3	1976,4	4527,9	6658,1
Річне навантаження системи ОВіК 46407,6 кВтгод												

На 1 м<sup>2</sup> опалювальної площі припадає 214,85 кВт·год теплової енергії на рік, що перевищує допустимі норми.

Тому було розраховано навантаження системи ОВіК за новими умовами з врахуванням можливих енергозберігаючих заходів (МЕЗ):

– проведено термомодернізацію непрозорих огорожувальних конструкцій мінеральною ватою. При цьому розрахований термічний опір становить  $R=3,48 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$  ;

– замінено світлопрозорі огорожувальні конструкції з мінімальним термічним опором  $R=0,75 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$  ;

– використана припливно-витяжна установка з роторним рекуператором.

Результати розрахунку навантаження системи опалення за допомогою програми *Audytor OZC* наведено у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Навантаження системи опалення після термомодернізації

№ приміщення	Навантаження на тепловтрати, Вт	Витрати тепла на інфільтрацію, Вт	Сумарні витрати тепла, Вт
418	2066	247	2313
401	2090	247	2337
402	1841	247	2088
$\Sigma$ (401+402+418)	5997	741	6738

Для вибору рекуператора та визначення його ефективності роботи скористалися програмою *Ventmaster* (рис. 3.9.)

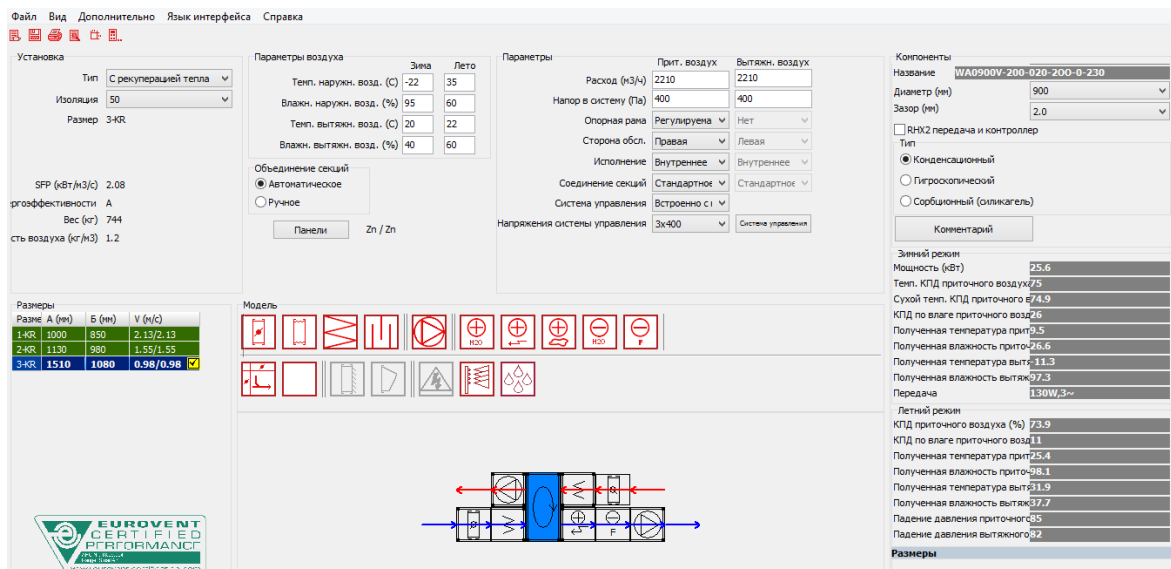


Рисунок 3.9 – Вікно програми *Ventmaster* для вибору ПВУ

За розрахунком в зимовий період при  $t_{p.o.}$  на виході з рекуператора отримано повітря з наступними характеристиками:  $t_{рек.зима} = 9,8^{\circ}\text{C}$ ,

$\varphi_{рек.зима}=35,9\%$ , а в літній режим -  $t_{рек.літ}= 26,4^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_{рек.літ}=97,1\%$ . Тобто ефективність роторного рекуператора становить  $\eta_{рек}=0,75$ .

Після цього виконано розрахунок на систему кондиціонування (табл. 3.12.) та враховано всі тепловтрати і теплонадходження у тепловому балансі для робочого і вихідного типового дня кожного місяця (табл. 3.13 та 3.14).

Таблиця 3.12 – Навантаження на систему кондиціонування при використанні МЕЗ

№	$Q_{люд}$ Вт	$Q_{комп}$ Вт	$Q_{вік.}$ Вт	$Q_{стін}$ Вт	$Q_{нв}$ Вт	$Q_{заг}$ Вт
№401	2268	600	985	83	1270	5206
№402	3780	600	1170	83	1880	7513
№418	2268	600	8079	83	1270	12300

Потім було пораховано місячну та річну енергопотребу ( табл 3.15).

Для наглядності було представлено річні навантаження системи до і після використання МЕЗ (рис. 3.10).

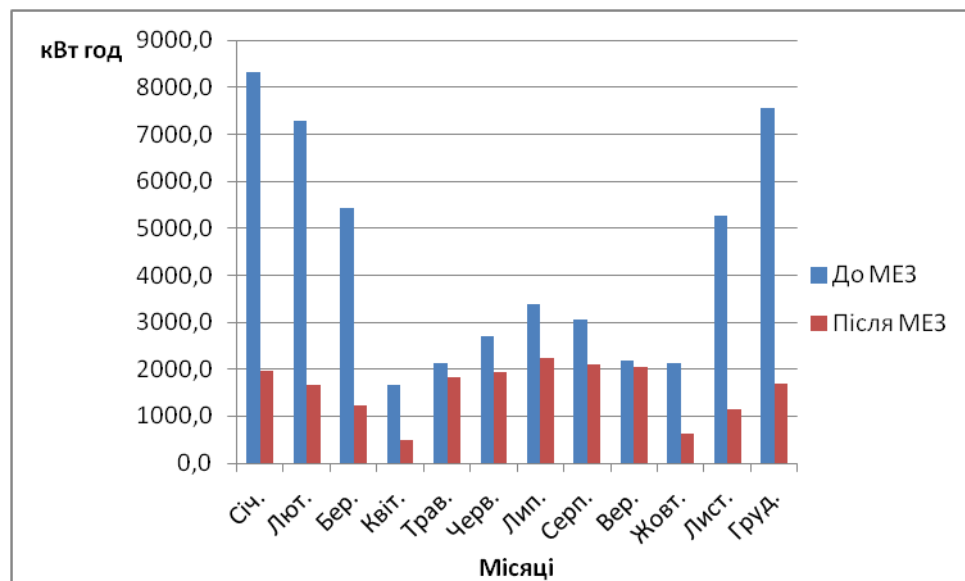


Рисунок 3.10 – Порівняння помісячного споживання теплової енергії системою ОВіК до і після застосування МЕЗ



Таблиця 3.13 – Навантаження систем ОВіК типового робочого дня при використанні МЕЗ, кВт

Година	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
1	3,72	3,55	2,82	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56	2,56	3,30
2	3,79	3,63	2,91	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68	2,63	3,39
3	3,88	3,72	2,99	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	2,70	3,44
4	3,93	3,77	3,06	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,87	2,75	3,49
5	3,98	3,82	3,13	1,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,94	2,79	3,55
6	4,03	3,86	3,02	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,95	2,82	3,58
7	4,04	3,75	2,82	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,87	2,80	3,60
8	3,00	2,38	0,97	0,00	-6,26	-6,36	-6,45	-6,58	-6,20	0,00	0,81	2,32
9	0,92	0,30	0,00	0,00	-9,96	-10,29	-10,47	-10,56	-9,82	0,00	0,00	0,27
10	0,00	0,00	0,00	0,00	-11,16	-11,72	-12,05	-12,13	-11,06	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	-11,88	-12,60	-13,17	-13,12	-11,92	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	-12,15	-12,91	-13,25	-13,51	-12,18	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	-11,92	-12,40	-13,05	-12,97	-11,91	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	-11,23	-11,72	-12,38	-12,25	-11,23	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	-10,25	-10,59	-11,20	-11,12	-10,15	0,00	0,00	0,00
16	0,28	0,00	0,00	0,00	-8,28	-8,84	-9,13	-8,56	-7,78	0,00	0,00	0,23
17	1,74	1,45	0,00	0,00	-6,11	-6,75	-6,89	-6,38	-5,29	0,00	0,11	1,27
18	3,18	2,97	2,13	0,27	0,00	-1,43	-1,25	0,00	0,00	0,81	2,09	2,85
19	3,24	3,03	2,20	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	2,15	2,91
20	3,29	3,10	2,28	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	2,20	2,96
21	3,37	3,18	2,37	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,09	2,27	3,01
22	3,44	3,27	2,49	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	2,34	3,10
23	3,53	3,37	2,60	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,31	2,40	3,17
24	3,62	3,46	2,70	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	2,49	3,24
Σ	57,0	52,6	38,5	17,7	99,2	105,6	109,3	108,2	97,5	20,4	35,9	49,7

Таблиця 3.14 – Навантаження систем ОВіК типового вихідного дня при використанні МЕЗ, кВт

Година	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
1	3,72	3,55	2,82	1,57	0	0	0	0	0	1,56	2,56	3,30
2	3,79	3,63	2,91	1,70	0	0	0	0	0	1,68	2,63	3,39
3	3,88	3,72	2,99	1,82	0	0	0	0	0	1,78	2,70	3,44
4	3,93	3,77	3,06	1,88	0	0	0	0	0	1,87	2,75	3,49
5	3,98	3,82	3,13	1,66	0	0	0	0	0	1,94	2,79	3,55
6	4,03	3,86	3,02	1,54	0	0	0	0	0	1,88	2,82	3,58
7	4,04	3,75	2,82	1	0	0	0	0	0	1,59	2,72	3,59
8	3,90	3,37	2,36	0	0	0	0	0	0	0,48	2,35	3,46
9	3,24	2,78	1,17	0	0	0	0	0	0	0	1,48	2,91
10	2,41	1,87	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,62	2,25
11	1,60	0,99	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	1,64
12	1,04	0,37	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	1,23
13	0,82	0,21	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	1,12
14	1,02	0,44	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,05	1,39
15	1,64	1,14	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,72	1,91
16	2,36	2,07	0,35	0	0	0	0	0	0	0	1,43	2,52
17	3,12	2,93	1,40	0	0	0	0	0	0	0,34	2,06	2,82
18	3,18	2,97	2,13	0	0	0	0	0	0	0,81	2,09	2,85
19	3,24	3,03	2,20	0	0	0	0	0	0	0,90	2,15	2,91
20	3,29	3,10	2,28	0	0	0	0	0	0	0,99	2,20	2,96
21	3,37	3,18	2,37	0	0	0	0	0	0	1,09	2,27	3,01
22	3,44	3,27	2,49	1,11	0	0	0	0	0	1,19	2,34	3,10
23	3,53	3,37	2,60	1,26	0	0	0	0	0	1,31	2,40	3,17
24	3,62	3,46	2,70	1,42	0	0	0	0	0	1,44	2,49	3,24
Σ	72,2	64,7	42,8	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,8	43,6	66,8

Таблиця 3.15 – Навантаження систем ОВіК протягом року при використанні МЕЗ, кВт

Дні	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
Роб.	1196,3	1052,3	808,2	371,7	1884,8	2112,2	2513,9	2379,9	2145,8	427,9	753,8	1093,1
Свят.	721,8	582,0	428,1	135,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	208,5	392,5	601,4
Σ	1918,1	1634,3	1236,3	507,0	1884,8	2112,2	2513,9	2379,9	2145,8	636,4	1146,3	1694,5
Річне навантаження системи ОВіК 19809,4 кВтгод												

Як видно з рис. 3.10 , найбільшу ефективність маємо у опалювальний період, оскільки запропонованими заходами зменшили тепловтрати системами опалення та вентиляції. В травні та вересні середні погодинні температури протягом дня коливалися близько 20 °С, що дорівнює оптимальній температурі в приміщенні, тому використання рекуператора не принесло високої ефективності.

В літній період головними теплонадходженнями залишилися надходження від людей та сонячної інсоляції, що і створює значне навантаження на систему кондиціонування.

Далі розраховали споживання електричної енергії спроектованими системами вентиляції та кондиціонування.

Зовнішній блок для системи кондиціонування обирався по максимально можливому значенню навантаження на дану систему (було

розраховано раніше за допомогою програми "Северный ветер"), що становить 25 кВт.

Для зручності підключення використали 2 зовнішні блоки потужністю 12,5 кВт кожний та з живленням від мережі 220В (рисунок 3.11).

Параметр / Модель			PUMY-P112VKM4
Электропитание			220 В, 1 фаза
Охлаждение	Производительность	кВт	12,5
	Потребляемая мощность	кВт	2,79
	Рабочий ток	А	12,87
	Коэффициент производительности EER		4,48
	Диапазон наружных температур	°C	-5 ~ +52°C
Нагрев	Производительность	кВт	14,0
	Потребляемая мощность	кВт	3,04
	Рабочий ток	А	14,03
	Коэффициент производительности COP		4,61
	Диапазон наружных температур	°C	-20 ~ +15°C

Рисунок 3.11 – Характеристика зовнішнього блоку *PUMY-P112VKM4*

Прийнявши за показник потужності навантаження системи кондиціонування типового робочого дня, визначено скільки в середньому на годину працюють зовнішні блоки протягом літнього періоду:

$$W_{\text{спож}} = \frac{Q_{\text{сист.кond.}}}{Q_{\text{з.б.}}} \cdot N_{\text{з.б.}}, \quad (3.11)$$

де  $Q_{\text{сист.кond.}}$  – погодинне навантаження на систему кондиціонування, кВт·год;

$Q_{\text{з.б.}}$  – паспортна продуктивність холодопостачання зовнішніх блоків системи кондиціонування, кВт ;

$N_{\text{з.б.}}$  – паспортна електрична потужність при максимальній продуктивності зовнішніх блоків системи кондиціонування, кВт.

Тоді для періоду з 14:00 до 15:00 липня місяця споживана електрична потужність зовнішніх блоків за формулою (3.2) становить:

$$W_{\text{спож}} = \frac{11,23}{25} \cdot 5,58 = 3,43 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Інші розрахунки проведено аналогічно, результати зведено у табл. 3.16.

Таблиця 3.16 – Розрахункові значення споживання електричної енергії зовнішнім блоком, кВт·год

Година	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.
8	2,32	2,34	2,36	2,39	2,30
9	3,14	3,22	3,26	3,28	3,11
10	3,41	3,54	3,61	3,63	3,39
11	3,57	3,73	3,86	3,85	3,58
12	3,63	3,80	3,88	3,93	3,64
13	3,58	3,69	3,83	3,82	3,58
14	3,43	3,54	3,68	3,65	3,43
15	3,21	3,28	3,42	3,40	3,19
16	2,77	2,89	2,96	2,83	2,66
17	2,20	2,35	2,38	2,26	2,02

Наступним кроком був розрахунок кількості енергії, що потрібна для роботи припливно-витяжної установки. Ротори приводяться в рух за допомогою двигуна з черв'ячним або циліндричним редуктором через клиновий ремінь; при цьому вид і розміри двигуна визначаються діаметром ротора. При наявності регулятора число оборотів двигуна і, отже, потужність ротаційного теплообмінника можна регулювати. Для обертання ротора в підібраний ПВУ потужність двигуна становить 0,06кВт.

В свою чергу, споживана потужність двигунів припливного і витяжного вентиляторів залежить від необхідної кількості повітря, графік залежності представлений на рис. 3.12.

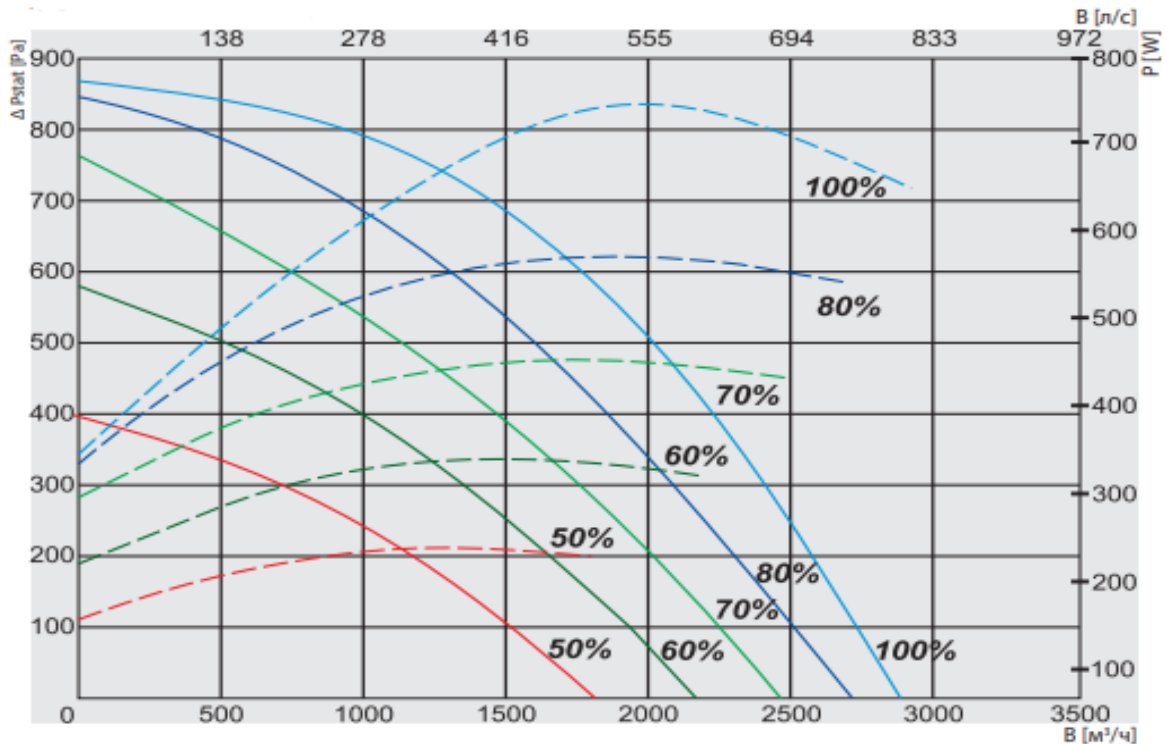


Рисунок 3.12. – Аеродинамічні характеристики вентилятора

Останнім елементом, що необхідно врахувати, залишився нагрівач повітря, що використовується в холодний період року. Оскільки обрані зовнішні блоки обладнані функцією «теплого насосу», то логічно буде використати теплову енергію для ПВУ. Для цього необхідно встановити додаткову секцію з фреоновим нагрівом. Споживання електричної енергії розраховано аналогічно як і для літнього періоду. Результати розрахунків зведено у таблицю 3.17.

Таблиця 3.17 – Розрахункові значення споживання електричної енергії системами вентиляції та кондиціонування, кВт·год

Година	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
1	0,46	0,46	0,45	0,43	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,43	0,45	0,46
2	0,47	0,46	0,45	0,43	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,43	0,45	0,46
3	0,47	0,46	0,45	0,43	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,43	0,45	0,46
4	0,47	0,47	0,45	0,44	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,44	0,45	0,46
5	0,47	0,47	0,46	0,44	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,44	0,45	0,46
6	0,47	0,47	0,46	0,44	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,44	0,45	0,46
7	0,47	0,47	0,46	0,44	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,44	0,45	0,46
8	1,98	1,94	1,77	1,49	3,41	3,43	3,45	3,48	3,39	1,52	1,71	1,88
9	1,97	1,92	1,75	1,44	4,23	4,31	4,35	4,37	4,20	1,51	1,70	1,87
10	1,94	1,89	1,71	1,39	4,50	4,63	4,70	4,72	4,48	1,46	1,67	1,85
11	1,90	1,85	1,66	1,32	4,66	4,82	4,95	4,94	4,67	1,40	1,64	1,81
12	1,85	1,80	1,61	1,27	4,72	4,89	4,97	5,02	4,73	1,34	1,60	1,77
13	1,81	1,76	1,57	1,22	4,67	4,78	4,92	4,91	4,67	1,29	1,56	1,73
14	1,78	1,73	1,54	1,19	4,52	4,63	4,77	4,74	4,52	1,25	1,54	1,71
15	1,77	1,73	1,53	1,18	4,30	4,37	4,51	4,49	4,28	1,24	1,53	1,70
16	1,77	1,73	1,53	1,18	3,86	3,98	4,05	3,92	3,75	1,24	1,53	1,70
17	1,70	1,65	1,46	1,11	3,21	3,36	3,39	3,27	3,03	1,17	1,46	1,63
18	0,46	0,45	0,44	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,44	0,45
19	0,46	0,45	0,44	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,44	0,45
20	0,46	0,45	0,44	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,44	0,45
21	0,46	0,46	0,44	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,44	0,45
22	0,46	0,46	0,45	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,44	0,45
23	0,46	0,46	0,45	0,43	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,43	0,44	0,46
24	0,46	0,46	0,45	0,43	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,43	0,45	0,46

### 3.2 Аналіз експлуатаційних характеристик дахової СЕС корпусу №22

Сонячна електрична станція корпусу №22, схема якої представлена на рис. 3.13, була введена після модернізації в роботу в травні 2019 року.

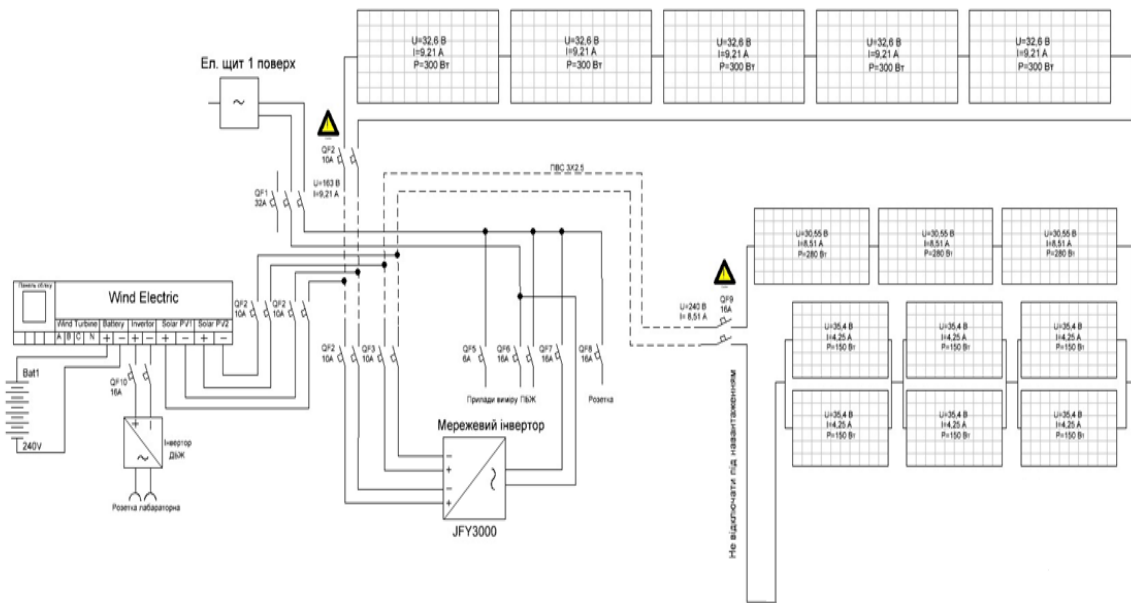


Рисунок 3.13 – Схема дахової СЕС корпусу №22

Мережевий інвертор марки *JFY3000* має два треки, до яких підключено фотоелектричні модулі. В перший стрінг об'єднані 9 панелей різного типу сумарною потужністю 1,74 кВт (3 полікристалічні панелі *Bluesun Solar 280Вт* марки *BSM280P-60/4BB* та 6 монокристалічних панелей ВАТ «Квазар» 150 Вт марки *KV-150/12(24)M*). Їх схема з'єднання представляє собою змішане підключення, оскільки панелі мають різні технічні параметри. Другий стрінг утворюють 5 послідовно з'єднаних монокристалічних кремнієвих панелей марки *M300-M156-60BK* потужністю 300 Вт кожна [45].

На рис. 3.14 та 3.15 зображено генерацію електроенергії сонячною станцією протягом року та протягом одного літнього місяця відповідно.



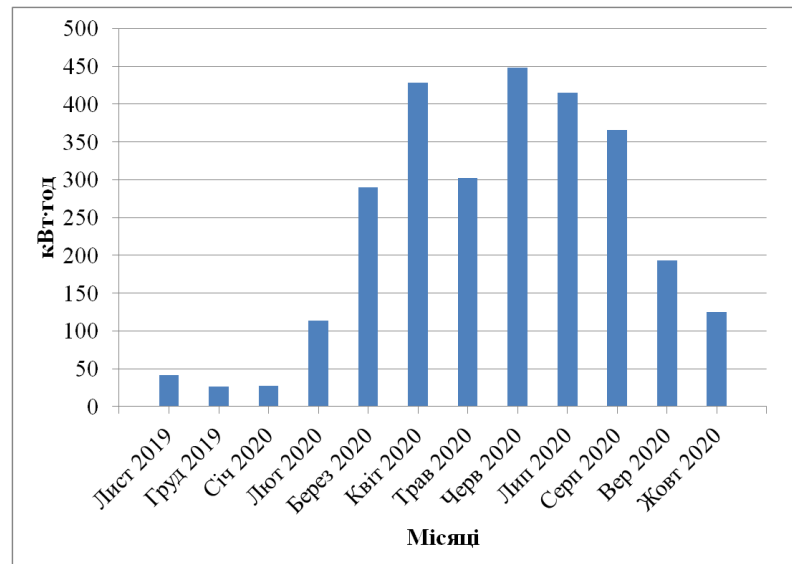


Рисунок 3.14 – Генерація електричної енергії дахової СЕС корпусу №22 помісячно

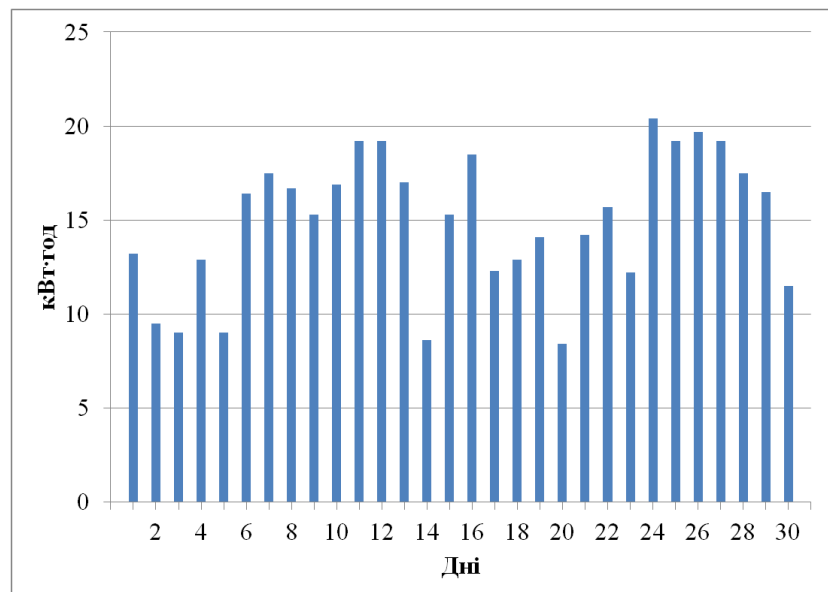


Рисунок 3.15 – Генерація електричної енергії дахової СЕС корпусу №22 за червень 2020 року

Графік електричних навантажень (ГЕН) дає наглядне уявлення про характер зміни електричного навантаження в лінії або в системі, тому за даними лічильника побудовано графік споживання електричної енергії корпусом №22 та порівняно з генерацією СЕС протягом одного дня (див. рис. 3.16).

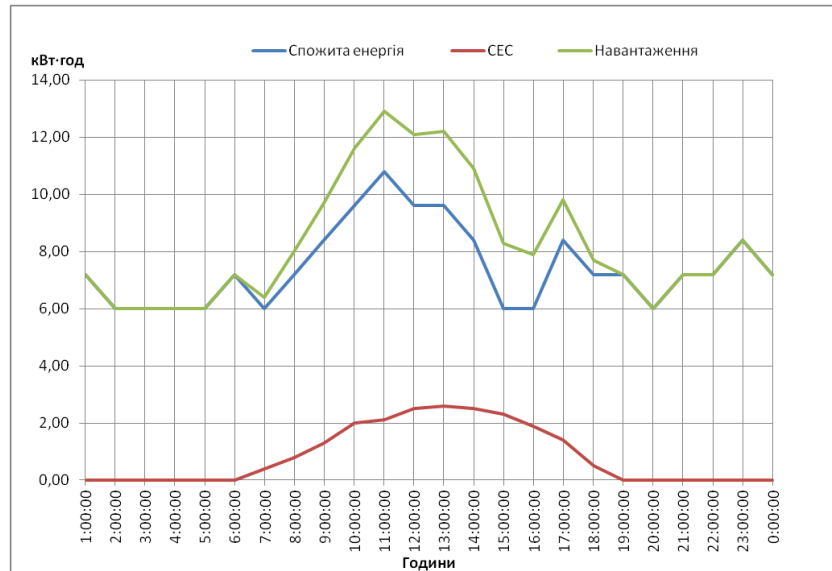


Рисунок 3.16 – Графік генерації електричної енергії від СЕС та ГЕН корпусу №22

Для оцінювання ефективності роботи дахової СЕС було проведено порівняння генерації електричної енергії за досліджуваний період з даними, отриманими за допомогою програмного забезпечення *System Advisor Model*. Результати порівняння представлені на рис. 3.17.

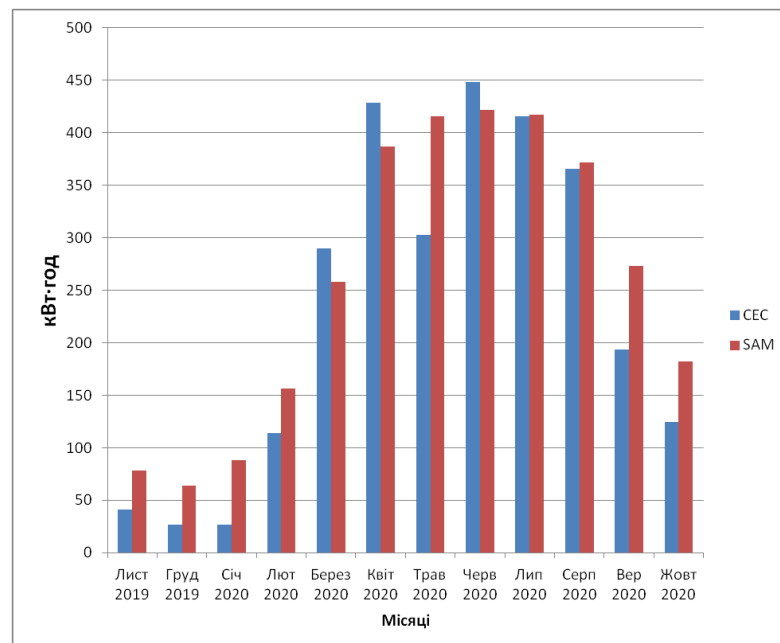


Рисунок 3.17 – Порівняння генерації електроенергії СЕС з модельованими значеннями

На ефективність роботи фотоелектричного модуля та станції можуть впливати наступні фактори: погодні умови, затінення, втрати при перетворенні енергії  $DC/AC$ , втрати в кабельних лініях, забруднення панелей, пошкодження фотоелектричних елементів, перегрів або пошкодження інвертора, відсутність циркуляції повітря навколо панелей.

Бачимо недоотримання електричної енергії у зимові місяці, що в нашому випадку пов'язано із частковим затіненням панелей другого потоку. Також значна відмінність між реальними та отриманими значеннями помітна у травні, і спричинена проблемами, що виникли при експлуатації сонячної станції. Загальна кількість недоотриманої електричної енергії протягом досліджуваного терміну становить 335 кВт·год.

Для знаходження факторів, що зменшують ефективність генерації дахової СЕС проаналізовано роботу сонячних панелей протягом доби. На рис. 3.18 показано потужність двох потоків за 15 та 16 березня 2020 року, дані яких записувалися до бази із дискретністю 5 хвилин.

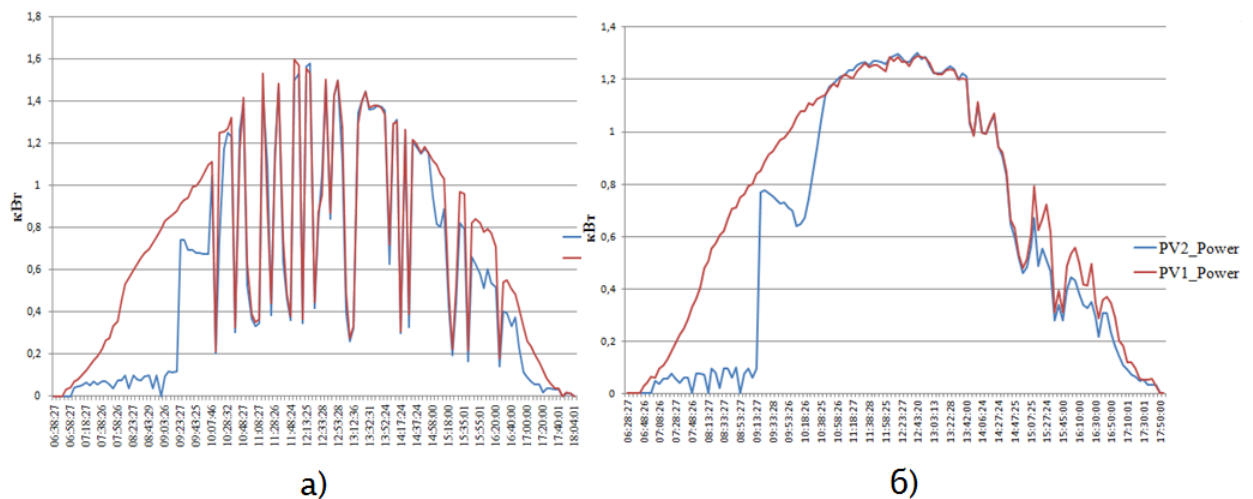


Рисунок 3.18 – Добовий графік потужності СЕС

(а - за 15 березня 2020 року, б - за 16 березня 2020 року)

Провали у графіку генерованої потужності пояснюються хмарністю, проте помітно значне відхилення між двома потоками у період до 10:00 та після 15:00. Дана різниця спричинена частковим затіненням панелей другого

потоків конструкціями вентиляційних систем технічного поверху корпусу №22. Для аналізу обсягу затінення було проведено експериментальне дослідження у першій половині дня, результати якого наведено у табл. 3.18. Фото затінення наведено на рисунку 3.19.

Таблиця 3.18 – Результати дослідження часткового затінення СЕС

Час	7:52	8:02	8:10	8:17	8:23	8:31	8:36	8:41	8:45	8:49
Незатінена площа, м <sup>2</sup>	6,81	6,87	6,92	6,97	7,03	6,98	7,03	7,02	7,04	7,08
% незатіненої поверхні	93,3	94,0	94,8	95,4	96,2	95,6	96,3	96,2	96,4	96,9
Час	8:55	9:01	9:09	9:17	9:25	9:31	9:35	9:48	9:55	10:00
Незатінена площа, м <sup>2</sup>	7,08	7,12	7,16	7,20	7,22	7,24	7,24	7,28	7,29	7,30
% незатіненої поверхні	97,0	97,5	98,0	98,6	98,9	99,1	99,2	99,8	99,8	100,0



Рисунок 3.19 – Фото часткового затінення панелей

Проаналізувавши результати дослідження визначено, що часткове затінення менше 10% від загальної площі панелей другого потоку. Проте тінь зменшує генеровану потужність на 80 відсотків.

Це пояснюється тим, що навіть один затінений фотоелектричний елемент обмежує напругу всієї панелі. Одним із рішенням щодо підвищення ефективності роботи СЕС в умовах часткового затінення фотомодулів є використання діодів. В сонячні панелі вбудовують шунтуючі діоди, або ще їх називають байпасними діодами [46] .

Також крім впливу на ефективність генерації СЕС, часткове затінення сонячної панелі призводить до значного перегріву затінених елементів. На зменшення генерованої потужності другого потоку впливає послідовне з'єднання самих модулів, при якому окрема панель має аналогічну поведінку при затіненні, що і сам фотоелектричний елемент, тобто обмеження ефективності всього стрінгу. Проте часткове затінення негативно впливає не лише з економічної точки зору, а й з технічної, оскільки при такому режимі зменшується експлуатаційний ресурс фотоелектричного елемента.

### **3.3 Інтегрована система енергозабезпечення корпусу №22**

Наступним етапом була розробка інтегрованої системи енергозабезпечення корпусу №22 з використанням сонячних електричних станцій, принципову схему якої представлено на рис. 3.20.

Представлена модель *ЕН* має три вхідні порти джерел енергії: теплову та електричну мережі, а також обладнана даховою СЕС. Теплова енергія використовується для системи опалення, а головним споживачем електричної енергії, генерованою СЕС, виступатиме запроектована система вентиляції та кондиціонування [47].

Маючи розрахункове навантаження систем вентиляції та кондиціонування, було порівняно із генерацією електричної енергії дахової СЕС. Результати представлено графічно для різних місяців на рис. 3.21.

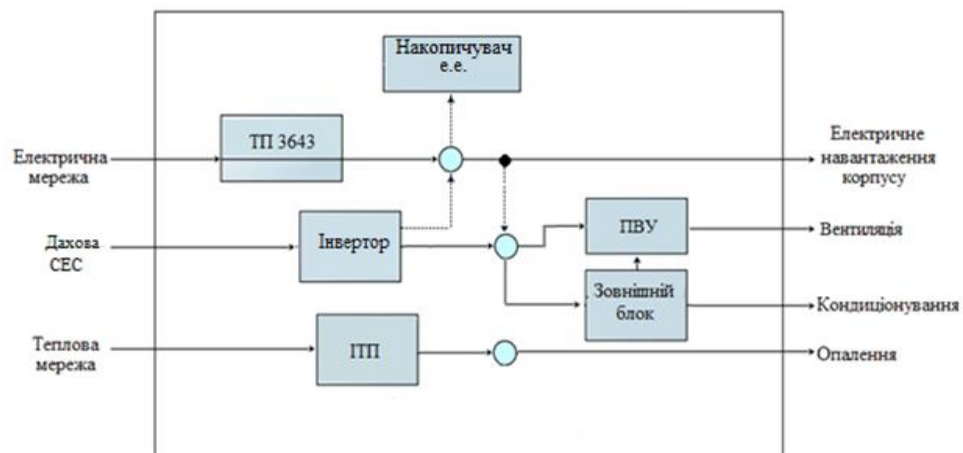


Рисунок 3.20 – Принципова схема інтегрованої системи енергозабезпечення корпусу №22

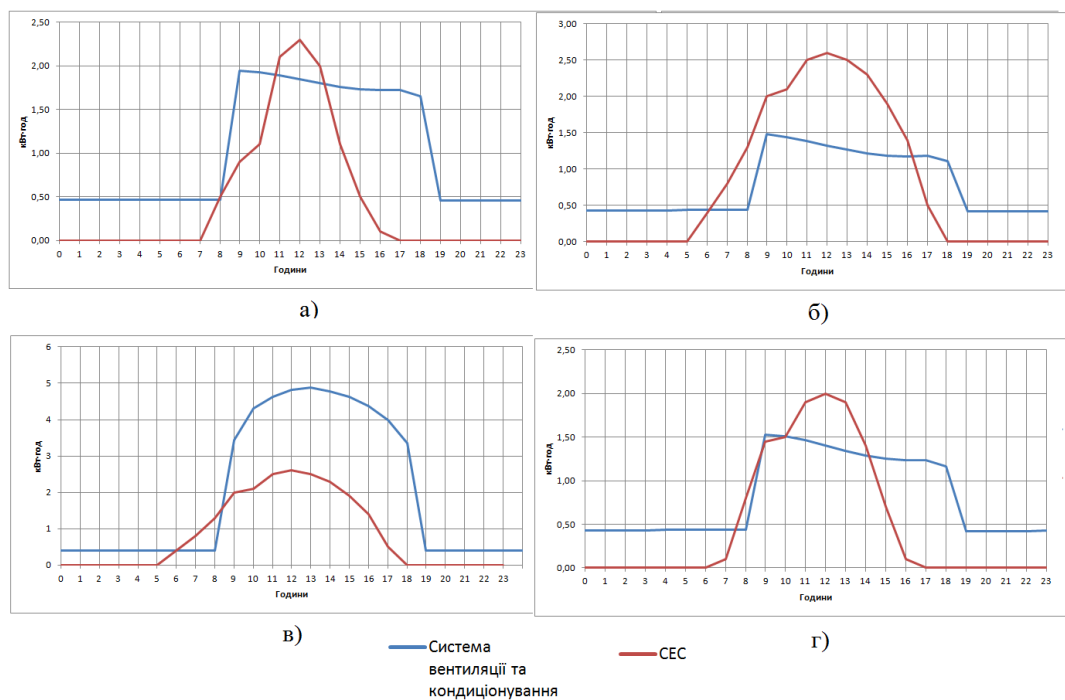


Рисунок 3.21 – Графік генерації електричної енергії СЕС та споживання електричної енергії системою вентиляції та кондиціонування у а) лютому; б) квітні; в) червні; г) жовтні

Проаналізувавши отримані графіки, бачимо перевищення генерації СЕС над споживанням електричної енергії системами вентиляції та

кондиціонування у весняний період, а також часткове перевищення у зимовий та осінній період. В літні місяці СЕС зменшує пікове навантаження системи на 50%.

Використання акумуляторних батарей дозволить зменшувати пікове навантаження та покращувати криву навантаження, а також несе за собою покращення інерції мережі для реагування на коливання, регулювання частоти та напруги, збереження мережевої синхронізації, забезпечення прямої напруги у разі несправностей.

### **Висновки до розділу 3**

В даному розділі проведено проектування системи вентиляції та кондиціонування з врахуванням річного енергоспоживання 3-х навчальних аудиторій корпусу №22 КПІ ім. Ігоря Сікорського .

Також в роботі представлено результати моделювання роботи сонячної електростанції та проведено порівняння отриманих даних з реальними значеннями генерації електричної енергії.

Було встановлено, що генерація СЕС у порівнянні з режимом роботи систем вентиляції та кондиціонування відбувається синхронно, що призводить до зменшення експлуатаційних витрат та пікового навантаження корпусу.

Тому запропонована інтегрована система енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем дозволить підвищити надійність системи електропостачання та ефективність її роботи.

## 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 4.1 Опис ідеї проекту

Ідея проекту полягає у створенні програмного забезпечення для впровадження інтегрованої системи, яка на підставі постійного аналізу рівня вироблення і споживання енергії, буде сама визначати оптимальне джерело генерації і подавати електроенергію в локальну мережу, зберігаючи її необхідну потужність. Даний розділ оформлений у відповідності з [48].

Для цілісного уявлення про проект зміст ідеї представимо за допомогою таблиці 4.1.

Таблиця 4.1– Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка програмного забезпечення для впровадження інтегрованої системи	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вибір оптимальних варіантів компонування вхідних параметрів для інтегрованої системи;</li> <li>- визначення оптимального джерела генерації в режимі онлайн.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- контролювати та використовувати ВДЕ в обрані періоди, (при відключенні живлення, використання власної енергії в пікові періоди, коли енерговитрати високі, продаж енергії в мережу, коли це найвигідніше);</li> <li>- зменшує термін окупності обладнання та системи в цілому;</li> <li>- гнучкість для використання енергії ВДЕ як потоку доходу, беручи безпосередню участь у програмах реагування на попит та можливостях балансування мереж, або в частині стратегії уникнення витрат, таких як пікове навантаження або управління тарифами.</li> </ul>



Іншими словами, ПЗ дає можливість активно управляти своїми енергетичними ресурсами та використовувати їх, отримуючи найбільшу фінансову вигоду, а сам користувач ПЗ стає активним споживачем та взаємодіє з мережею енергопостачання.

Наразі немає конкурента або подібного ПЗ оскільки генерація енергії відновлюваними джерелами енергії в більшості випадків відбувається без застосування елементів накопичення.

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту представлено за допомогою таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення програмного забезпечення для впровадження інтегрованої системи	Мова програмування <i>Java</i>	Наявна	Доступна
2		Мова програмування <i>Javascript</i>	Наявна	Доступна
3		Мови програмування <i>Python</i>	Наявна	Доступна
4		Мова програмування <i>C++</i>	Наявна	Доступна
5		Мова програмування <i>C#</i>	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: мова програмування <i>C#</i>				

Для аудиту технологій було обрано 5 мов програмування, які входили до десятка популярних мов програмування у 2019 році [49]. Головними

критеріями, якими керувалися при виборі технології реалізації, була можливість розробки як десктопних, так і мобільних додатків, а також можливість реалізувати будь-яке завдання від створення невеликого обчислювального алгоритму до написання повноцінної програми.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для визначення напрямку розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища та потреб потенційних клієнтів потрібно дослідити ринкові можливості та загрози (див. табл. 4.3 та 4.4., а також провести характеристику потенційних клієнтів (див. табл. 4.5).

Таблиця 4.3 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1. Непоінформованість потенційних клієнтів про поняття «prosumer» та можливі переваги від контролювання генерацією систем ВДЕ	Низький попит на програмне забезпечення	Зменшення ціни, застосування реклами, отримання відсотку від прибутку без попереднього внесення коштів клієнтом
2. Конкуренція	Вихід на ринок аналогічно продукту	Зменшення ціни, застосування реклами, запровадження бонусів за реферальною системою

Таблиця 4.4 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Вдосконалення ПЗ	Створення нових функцій ПЗ, розширення функціоналу	Можливість оновлення ПЗ, нагадування користувачеві про наявність нових версій

Продовження таблиці 4.4

Прийняття нових законів	Прийняття законів, що стимулюють впровадження інтегрованих систем	Оновлення функціоналу для всіх нових користувачів, а також для теперішніх клієнтів за умови можливості отримання вигоди від нових законопроектів при наявній системі
-------------------------	-------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Вимоги споживачів до товару
Потреба у ефективнішій інтеграції розосередженої генерації, отримання переваг як активного споживача	Власники ВДЕ	Своєчасне та якісне надання послуг, зрозумілість інтерфейсу, онлайн-підтримка, техніко-економічні результати

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження даного проекту є складання *SWOT*-аналізу (див. табл. 4.6), методу стратегічного планування. Він використовується, щоб допомогти визначити сильні і слабкі сторони проекту, можливості і загрози, пов'язані з конкуренцією або плануванням проекту.

Таблиця 4.6 – *SWOT*-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: - стартап-проект є монополістом на ринку України; - постійна онлайн-підтримка ПЗ;	Слабкі сторони: - вимагає підключення до мережі Інтернет;
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------

Продовження таблиці 4.6

<b>Можливості:</b> - прийняття нових законів; - постійне вдосконалення ПЗ;	<b>Загрози:</b> - конкуренція; - низький попит на програмне забезпечення; - складне політичне та економічне становище в країні;
----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Наступним етапом є визначення стратегії, за допомогою якої відбуватиметься охоплення ринку. Для цього проведемо вибір цільових груп потенційних клієнтів (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Громадські будівлі, школи, дитсадки	Часткова готовність	Середній	Відсутня	Просто
Приватні домогосподарства	Повна готовність	Високий	Відсутня	Просто

Оскільки попит присутній в усіх розглянутих цільових групах, а запропоноване програмне забезпечення є універсальним продуктом, то працюємо із всім ринком, використовуючи масовий маркетинг.

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Завершальним етапом є формування маркетингової концепції товару, який отримує кінцевий клієнт. Для цього підсумуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару (див. табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі, або такі, що потрібно створити)
Надійність та безпека	Особистий ключ-ідентифікатор для кожного користувача	Вхід у систему як індивідуальний користувач
Підтримка та оновлення	Створення і постійне оновлення функціоналу ПЗ	Врахування побажань клієнтів, виправлення несправностей та багів
Повнота та достовірність даних	Інформація отримана напрямку від джерела генерації без коригування даних	Інформація відображається у реальному часі, наявний архів даних

Для просування товару обираємо концепцію маркетингової комунікації, яка дозволить збільшувати поінформованість потенційних споживачів та підвищувати кількість клієнтів, що користуються запропонованим продуктом.

#### **Висновки до розділу 4**

В даному розділі було створено стартап-проект програмного забезпечення для впровадження інтегрованої системи, яка на підставі постійного аналізу рівня вироблення і споживання енергії, буде сама визначати оптимальне джерело генерації і подавати електроенергію в локальну мережу, зберігаючи її необхідну потужність.

При проведенні аналізу ринкових можливостей стартап-проекту було з'ясовано, що загрозами можуть бути непоінформованість потенційних клієнтів про поняття «prosumer» та можливі переваги від контролювання генерацією систем ВДЕ, а також вихід на ринок аналогічного продукту.

Для усунення загроз потрібно проводити зменшення ціни, застосування реклами, отримання відсотку від прибутку без попереднього внесення коштів клієнтом, запровадження бонусів за реферальною системою.

Дослідження показало, що найбільший попит серед всіх цільових груп буде присутній для приватних домогосподарств, проте запропонований продукт є універсальним рішенням, і дозволяє працювати з всім ринком.

Аналіз підтвердив, що постійна підтримка проекту в режимі онлайн, наявність зворотного зв'язку від споживачів дає можливість бути комерційно привабливим для потенційних користувачів даного продукту.

## ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації було проведено аналіз ефективності систем енергозабезпечення, і встановлено, що більша частина енергії, яка використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування, продовжує вироблятися з викопного палива.

Тому покращення енергоефективності є однією з важливих стратегій уповільнення зростання попиту та пом'якшення негативного впливу на здоров'я, економіку та навколишнє середовище. Поряд з ефективністю, відновлювана енергія відіграватиме фундаментальну роль у декарбонізації енергії, що використовується для опалення, вентиляції та кондиціонування. Впровадження інтегрованої системи енергозабезпечення є ефективним способом підвищення енергоефективності, зменшення викидів CO<sub>2</sub> та збільшення використання відновлюваної енергії.

Розглянуто технологічні і технічні рішення по організації та конструктивним виконанням систем забезпечення мікроклімату приміщень житлових і громадських будівель, спрямованих на скорочення споживання енергії, проведено порівняльний аналіз різних конструкцій теплообмінників.

В третьому розділі проведено проектування системи вентиляції та кондиціонування з врахуванням річного енергоспоживання 3-х навчальних аудиторій корпусу №22 КПІ ім. Ігоря Сікорського, представлено результати моделювання роботи сонячної електростанції та результати порівняння отриманих даних з реальними значеннями генерації електричної енергії.

В результаті дослідження встановлено, що генерація СЕС у порівнянні з режимом роботи систем вентиляції та кондиціонування відбувається синхронно, що призводить до зменшення експлуатаційних витрат та пікового навантаження корпусу.

Розроблено моделі та структурні інтегрованої системи енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем, що дозволить

підвищити надійність системи електропостачання локального об'єкта та ефективність її роботи.

Запропоновано стартап-проект програмного забезпечення для впровадження інтегрованої системи, яка на підставі постійного аналізу рівня вироблення і споживання енергії, буде сама визначати оптимальне джерело генерації і подавати електроенергію в локальну мережу, зберігаючи її необхідну потужність.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. International Energy Agency, World Energy Statistics and Balances 2020 (database), IEA, Paris.
2. World Energy Outlook 2020, IEA, Paris.
3. U.S. Energy Information Administration, (2019).
4. European Commission, 2020 Vision: Saving Our Energy.
5. Directive, 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings, Official Journal L (001), 04.01.2003, 0065–0071.
6. Лисик, В., Присяжнюк, Ю. (2018). Правовий статус міжнародного агентства з відновлювальних джерел енергії. Вісник Львівського університету. Серія: Міжнародні відносини, (45), 219-224.
7. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://saee.gov.ua/uk>.
8. Winzer C. Conceptualizing energy security. Energy Policy 2012;46:3648.
9. Mancarella P. MES (multi-energy systems): an overview of concepts and evaluation models. Energy 2014;65:1–17.
10. Веремійчук Ю.А., Опришко В.П., Притискач І.В., Ярмолюк О.С. Оптимізація функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів. Київ, Видавничий дім «Кий», 2020. 186 с. ISBN 987-617-7177-12-7.
11. Favre-Perrod P. A vision of future energy networks. In: Proceedings of the power engineering society inaugural conference and exposition in Africa, 2005 IEEE; 2005. p. 13–7.
12. Geidl M, Koeppel G, Favre-Perrod P, Klockl B, Andersson G, Frohlich K. Energy hubs for the future. IEEE Power Energy Mag 2007;5:24.
13. Bozchalui MC. Optimal operation of energy hubs in the context of smart grids [Ph.D. dissertation]. Waterloo, ON, Canada: Dept. Elect. Comput. Eng., Univ. Waterloo; 2011.

14. Veremiichuk Y., Deshko V., Karpenko D., Mahnitko A. Scenario analysis for increasing efficiency level of the autonomous generation object in central heat supply. Proc. IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University RTU-CON2019. Latvia, Riga, 07–09 October 2019.

15. Веремійчук Ю.А., Замулко А.І., Норець М.О. Формування підходів оцінювання впливу ВЕС і СЕС на побудову балансів потужності Об'єднаної енергетичної системи України 2018, 2020 рр. Авторське право на твір № 87743, 15.04.2019.

16. Veremiichuk Y., Zamulko A., Zaichenko S., Mahnitko A., Berzina K., Zicmane I. Analysis of Electric Energy Supply Security Attached to 181 Renewable Energy Sources Implementation. Proc. X International Conference on Electrical and Power Engineering EPE2018. Romania, Iași. 18–19 October 2018. Pp. 977–981.

17. Moradi MH, Eskandari M, Hosseinian SM. Cooperative control strategy of energy storage systems and micro sources for stabilizing microgrids in different operation modes. Int J Electr Power Energy Syst 2016;78:390–400.

18. Веремійчук Ю.А., Притискач І.В., Ярмолюк О.С., Опришко В.П. Модель функціонування енергетичних хабів в умовах реформування енергетичної галузі. Авторське право на твір № 87126, 22.03.2019.

19. Lucas A, Chondrogiannis S. Smart grid energy storage controller for frequency regulation and peak shaving, using a vanadium redox flow battery. Int J Electr Power Energy Syst 2016;80:26–36.

20. Концепція реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії: розпорядження Кабінету Міністрів України від 29 січня 2020 р. № 88-р.

21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables 2020 Global Status Report, REN21 Secretariat, Paris.

22. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2013. 240 с.
23. Губина И.А., Горшков А.С. Энергосбережение в зданиях при утилизации тепла вытяжного воздуха. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31). С. 209 - 219.
24. Регулювання продуктивності вентиляційних установок за рахунок зміни частоти обертання електродвигуна Карпенко В.О.
25. Дешко В.І., Крот І.О. Утилізація теплоти в системах вентиляції // Нова Тема. — 2009. — № 2. — С. 9—11.
26. Кордюков, М. І.; Дешко, В. І.; Суходуб, І. О. Особливості процесів тепло масообміну рекуперативного мембранного теплообмінника «повітря-повітря» в літній період. Холодильна техніка та технологія, 2014, 50.1.
27. Рекуперация тепла [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://ecotown.com.ua/slovnyk/rekuperatsiya-tepla/>.
28. Ковальчук, А. М., Листопадська, Т. В. (2015). Ефективність використання вентиляційних установок рекуперативного типу. Ел. каталог, 7-14.
29. Самарин, О. Д. "Оценка температурной эффективности теплоутилизаторов с промежуточным теплоносителем по безразмерным параметрам." Известия высших учебных заведений. Строительство 2 (2009): 54-58.
30. Xiao F, Wang S. Progress and methodologies of lifecycle commissioning of HVAC systems to enhance building sustainability. Renew Sustain Energy Rev 2009;13:1144–9.
31. Federal Energy Management Program (FEMP). Continuous Commissioning Guidebook for Federal Managers. ; 2013.
32. Crawley DB, Lawrie LK, Pedersen CO, et al. Energy plus: energy simulation program. ASHRAE J. 2000;42:49–56.

33. Holcomb 9 D, Li W, Seshia SA. Algorithms for green buildings: learning-based techniques for energy prediction and fault diagnosis, UCB/EECS-2009- 138. University of California at Berkeley; 2009.
34. Al-Homoud MS. Computer-aided building energy analysis techniques. Build Environ 2001;36:421–33.
35. Chung W. Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. Appl Energy 2011;88:1470–9.
36. ДСТУ Б EN ISO 7730:2011. Ергономіка теплого середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV I PPD і критеріїв локального теплового комфорту. [Чинний від 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2012. 74 с.
37. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 380 с.
38. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 430.
39. Бородавка, Є. В. Класифікація архітектурно-будівельних САПР. Управління розвитком складних систем, 2011, 7.
40. Audytor OZC [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ua.sankom.net/programs/audytor-ozc>.
41. Autodesk Revit [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.autodesk.ru/products/revit/overview>.
42. Бабіч О.Ю., Веремійчук Ю.А., Аналіз інструментів щодо виконання передпроектних робіт функціонування СЕС. VI Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку (PEMS'19), м. Київ; Дата проведення: 04-07 червня 2019; С. 51-53.

43. The System Advisor Model [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://sam.nrel.gov>.
44. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>.
45. Степаненко В.А., Веремійчук Ю.А., Експериментальне дослідження ефективності генерації дахової СЕС корпусу №22. XII Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина»; 7-8 травня 2020; м. Київ; С. 144-150.
46. Guo SY, Walsh TM, Aberle AG, Peters M. Analysing partial shading of PV modules by circuit modelling. Proc. 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Austin, USA; 2012, pp. 002957-002960.
47. Степаненко В.А., Інтегрована система енергозабезпечення із застосуванням вентиляційних систем. III Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ, 26-27 листопада 2020, м. Київ.
48. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей «Розроблення стартар-проекту»/ Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2016 р.
49. Топ10 мов програмування у 2019. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://apeps.kpi.ua/top10-mov-programuvania-2019>.
50. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2015. 145 с.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Таблиця А.1 – Погодинна температура зовнішнього повітря  
репрезентативного дня місяця для м. Києва [50]

Год- ина	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
1	-5,5	-4,5	-0,3	6,9	12,4	15,3	17,2	16,6	12	7	1,2	-3,1
2	-5,9	-5	-0,8	6,2	11,6	14,5	16,4	15,8	11,2	6,3	0,8	-3,6
3	-6,4	-5,5	-1,3	5,5	11	14	15,8	15,1	10,6	5,7	0,4	-3,9
4	-6,7	-5,8	-1,7	5,1	10,6	13,6	15,3	14,6	10	5,2	0,1	-4,2
5	-7	-6,1	-2,1	4,7	10,3	13,5	15,1	14,3	9,6	4,8	-0,1	-4,5
6	-7,3	-6,3	-2,2	4,6	10,4	13,7	15,2	14,2	9,4	4,5	-0,3	-4,7
7	-7,4	-6,4	-2,3	4,8	10,9	14,4	15,7	14,5	9,4	4,4	-0,4	-4,8
8	-7,4	-6,4	-2	5,4	11,9	15,5	16,6	15,3	9,9	4,4	-0,4	-4,8
9	-7,2	-5,9	-1,3	6,6	13,2	16,8	17,9	16,6	10,9	4,9	-0,1	-4,6
10	-6,4	-5	-0,3	8	14,8	18,3	19,4	18,2	12,4	6	0,6	-4
11	-5,3	-3,9	1	9,6	16,4	19,8	21	19,8	14,1	7,5	1,5	-3
12	-4,1	-2,7	2,3	11,1	17,9	21,1	22,4	21,4	15,8	9,1	2,5	-2
13	-3	-1,7	3,3	12,3	19,1	22,2	23,5	22,7	17,2	10,5	3,4	-1
14	-2,2	-1	4	13,1	19,8	22,9	24,2	23,5	18,1	11,5	4	-0,4
15	-2	-0,8	4,3	13,4	20,1	23,1	24,5	23,8	18,4	11,8	4,2	-0,2
16	-2	-0,8	4,2	13,3	20	23	24,4	23,7	18,4	11,8	4,2	-0,2
17	-2,1	-1	4,1	13	19,6	22,6	24,1	23,4	18,1	11,6	4,1	-0,3
18	-2,4	-1,2	3,7	12,6	19,1	22,1	23,5	22,9	17,7	11,3	3,9	-0,5
19	-2,7	-1,5	3,3	12	18,4	21,3	22,8	22,2	17,1	10,8	3,6	-0,8
20	-3	-1,9	2,8	11,3	17,5	20,4	22	21,4	16,4	10,3	3,3	-1,1
21	-3,5	-2,4	2,3	10,5	16,5	19,4	21,1	20,5	15,6	9,7	2,9	-1,4
22	-3,9	-2,9	1,6	9,6	15,5	18,3	20,1	19,5	14,7	9,1	2,5	-1,9
23	-4,4	-3,5	1	8,7	14,4	17,2	19	18,5	13,8	8,4	2,1	-2,3
24	-4,9	-4	0,4	7,8	13,4	16,2	18,1	17,5	12,9	7,7	1,6	-2,7

Таблиця А.2 – Теплонадходження від людей, освітлення та обладнання, значення за замовчуванням [50]

Призначення будівлі	Графік використання, год/тиждень	Метаболічна теплота $\Phi_{\text{int,oc}}$ Вт/м <sup>2</sup>	Освітлення $\Phi_{\text{int,L}}$ Вт/м <sup>2</sup>	Обладнання $\Phi_{\text{int,A}}$ Вт/м <sup>2</sup>
Одноквартирні будинки	112	1,2	2,0	2,0
Багатоквартирні будинки, гуртожитки	112	1,8	2,0	2,0
Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси	50	4,0	7,0	6,0
Будівлі навчальних закладів	50	7,0	7,0	6,0
Будівлі дитячих дошкільних закладів	50	7,0	7,0	3,0
Будівлі закладів охорони здоров'я	168	2,7	7,0	6,0
Готелі	168	4,0	8,0	2,0
Ресторани	84	5,0	8,0	4,0
Спортивні заклади	84	5,0	8,0	1,0
Будівлі закладів оптової та роздрібної торгівлі	84	7,0	12,0	2,0
Будівлі культурно розважальних закладів та дозвільних установ	56	5,0	8,0	2,0
Інші види будівель	60	3,0	7,0	2,0

[illegible]





Таблиця А.5 – Кількість святкових, вихідних і робочих днів у 2020 році

Місяць	Робочі дні	Святкові та вихідні дні
Січень	21	10
Лютий	20	9
Березень	21	10
Квітень	21	9
Травень	19	12
Червень	20	10
Липень	23	8
Серпень	20	11
Вересень	22	8
Жовтень	21	10
Листопад	21	9
Грудень	22	9

Таблиця Б.1 – Розрахунок енергопотребі системи опалення

Година	Січ.		Лют.		Бер.		Квіт.		Жовт.		Лист.		Груд.	
	Черг.кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт
1	7,47	-	7,13	-	5,67	-	3,16	-	3,13	-	5,14	-	6,64	-
2	7,61	-	7,30	-	5,84	-	3,41	-	3,37	-	5,28	-	6,81	-
3	7,79	-	7,47	-	6,01	-	3,65	-	3,58	-	5,42	-	6,92	-
4	7,89	-	7,58	-	6,15	-	3,79	-	3,75	-	5,53	-	7,02	-
5	7,99	-	7,68	-	6,29	-	3,93	-	3,89	-	5,60	-	7,13	-
6	8,10	-	7,75	-	6,33	-	3,96	-	4,00	-	5,67	-	7,20	-
7	8,13	-	7,79	-	6,36	-	3,89	-	4,03	-	5,70	-	7,23	-
8	8,13	9,52	7,79	9,18	6,26	7,65	3,68	5,07	4,03	5,42	5,70	7,09	7,23	8,62
9	8,06	9,45	7,61	9,00	6,01	7,40	3,27	4,66	3,86	5,25	5,60	6,99	7,16	8,55
10	7,79	9,18	7,30	8,69	5,67	7,06	2,78	4,17	3,48	3,48	5,35	6,74	6,95	8,34
11	7,40	8,79	6,92	8,31	5,21	6,60	2,22	3,61	2,95	2,95	5,04	6,43	6,60	7,99
12	6,99	8,38	6,50	7,89	4,76	6,15	1,70	3,09	2,40	2,40	4,69	6,08	6,26	7,65
13	6,60	7,99	6,15	7,54	4,41	5,80	1,29	2,68	1,91	1,91	4,38	5,77	5,91	7,30
14	6,33	7,72	5,91	7,30	4,17	5,56	1,01	2,40	1,56	1,56	4,17	5,56	5,70	7,09
15	6,26	7,65	5,84	7,23	4,07	5,46	0,90	2,29	1,46	2,85	4,10	5,49	5,63	7,02
16	6,26	7,65	5,84	7,23	4,10	5,49	0,94	2,33	1,46	2,85	4,10	5,49	5,63	7,02
17	6,29	7,68	5,91	7,30	4,14	5,53	1,04	2,43	1,53	2,92	4,14	5,53	5,67	7,06
18	6,40	-	5,98	-	4,28	-	1,18	-	1,63	-	4,21	-	5,74	-
19	6,50	-	6,08	-	4,41	-	1,39	-	1,81	-	4,31	-	5,84	-
20	6,60	-	6,22	-	4,59	-	1,63	-	1,98	-	4,41	-	5,94	-
21	6,78	-	6,40	-	4,76	-	1,91	-	2,19	-	4,55	-	6,05	-
22	6,92	-	6,57	-	5,01	-	2,22	-	2,40	-	4,69	-	6,22	-
23	7,09	-	6,78	-	5,21	-	2,54	-	2,64	-	4,83	-	6,36	-
24	7,26	-	6,95	-	5,42	-	2,85	-	2,89	-	5,01	-	6,50	-

Додаток Б

Таблиця Б.2 – Розрахунок енергопотребі системи вентиляції в опалювальний період

Година	Січ.		Лют.		Бер.		Квіт.		Жовт.		Лист.		Груд.	
	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт	Черг. кВт	Роб. кВт
1	1,14	-	1,09	-	0,86	-	0,48	-	0,48	-	0,78	-	1,01	-
2	1,16	-	1,11	-	0,89	-	0,52	-	0,51	-	0,80	-	1,04	-
3	1,19	-	1,14	-	0,92	-	0,56	-	0,55	-	0,83	-	1,05	-
4	1,20	-	1,15	-	0,94	-	0,58	-	0,57	-	0,84	-	1,07	-
5	1,22	-	1,17	-	0,96	-	0,60	-	0,59	-	0,85	-	1,09	-
6	1,23	-	1,18	-	0,96	-	0,60	-	0,61	-	0,86	-	1,10	-
7	1,24	-	1,19	-	0,97	-	0,59	-	0,61	-	0,87	-	1,10	-
8	1,24	20,59	1,19	19,84	0,95	16,53	0,56	10,97	0,61	11,72	0,87	15,33	1,10	18,63
9	1,23	20,44	1,16	19,46	0,92	16,00	0,50	10,07	0,59	11,35	0,85	15,10	1,09	18,48
10	1,19	19,84	1,11	18,79	0,86	15,25	0,42	9,02	0,53	10,52	0,82	14,58	1,06	18,03
11	1,13	19,01	1,05	17,96	0,79	14,28	0,34	7,81	0,45	9,39	0,77	13,90	1,01	17,28
12	1,06	18,11	0,99	17,06	0,73	13,30	0,26	6,69	0,37	8,19	0,71	13,15	0,95	16,53
13	1,01	17,28	0,94	16,31	0,67	12,55	0,20	5,79	0,29	7,14	0,67	12,47	0,90	15,78
14	0,96	16,68	0,90	15,78	0,64	12,02	0,15	5,18	0,24	6,39	0,64	12,02	0,87	15,33
15	0,95	16,53	0,89	15,63	0,62	11,80	0,14	4,96	0,22	6,16	0,62	11,87	0,86	15,18
16	0,95	16,53	0,89	15,63	0,62	11,87	0,14	5,03	0,22	6,16	0,62	11,87	0,86	15,18
17	0,96	16,61	0,90	15,78	0,63	11,95	0,16	5,26	0,23	6,31	0,63	11,95	0,86	15,25
18	0,97	-	0,91	-	0,65	-	0,18	-	0,25	-	0,64	-	0,87	-
19	0,99	-	0,93	-	0,67	-	0,21	-	0,28	-	0,66	-	0,89	-
20	1,01	-	0,95	-	0,70	-	0,25	-	0,30	-	0,67	-	0,91	-
21	1,03	-	0,97	-	0,73	-	0,29	-	0,33	-	0,69	-	0,92	-
22	1,05	-	1,00	-	0,76	-	0,34	-	0,37	-	0,71	-	0,95	-
23	1,08	-	1,03	-	0,79	-	0,39	-	0,40	-	0,74	-	0,97	-
24	1,11	-	1,06	-	0,83	-	0,43	-	0,44	-	0,76	-	0,99	-